

**UNED**

Escuela  
Internacional  
de Doctorado

**EIDUNED**

# TESIS DOCTORAL

2021

## ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UN PROYECTO INMOBILIARIO MEDIANTE OPCIONES REALES

**Arturo Romero Ibáñez**

PROGRAMA DE DOCTORADO EN ECONOMÍA Y EMPRESA.  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA.  
UNED.

Directores:

**Alfonso Herrero de Egaña Espinosa de los Monteros**

**Alberto Muñoz Cabanes**

Para David y Julia.

Algunos dicen que vivimos tiempos difíciles, pero...  
¿no es maravilloso que esta Tesis no esté dedicada al duque de Béjar o al conde de Lemos?

Para Raquel, que en todos mis recuerdos aparece sonriendo.

*Dos linajes solos hay en el mundo, como decía una agüela mía, que son el tener y el no tener, aunque ella al del tener se atenía; y el día de hoy, mi señor don Quijote, antes se toma el pulso al haber que al saber: un asno cubierto de oro parece mejor que un caballo enalbardado.*

Sancho Panza durante las bodas de Camacho. Segunda Parte: El Ingenioso Caballero Don Quijote de la Mancha. Miguel de Cervantes.

*¿De dónde procede lo apagado de vuestros ojos? ¿Cómo ha hecho vuestro siglo para entumeceros de este modo? ¿Acaso solo se le concederán maravillas al hombre cuando ya no esté capacitado para asombrarse?*

Sir William Gull. From Hell. Alan Moore & Eddie Campbell.

*“Un árbol —afirma Mr. Mill— deber ser un árbol o no serlo.” Muy bien; y ahora permítaseme preguntarle por qué. Para esta pequeña pregunta hay una sola respuesta. Desafío a cualquier hombre viviente a que invente una segunda. Esta sola respuesta es: “Porque nos resulta imposible concebir que un árbol pueda ser algo distinto de un árbol o no ser un árbol.”*

Edgar Allan Poe. Eureka.

*Charlie: No. No iremos. Una mujer me daba 500 dólares por el billete, y a lo mejor nos pagarían más. Necesitamos más el dinero que el chocolate.*

*Abuelo George: Jovencito, ven aquí. Hay un montón de dinero en el mundo y fabrican más y más cada día. Pero de este billete, solo hay 5 ejemplares en todo el mundo, y nunca habrá ninguno más. Solo un bobo lo cambiaría por algo tan vulgar como el dinero. . . ¿eres tú un bobo?*

*Charlie: No, señor.*

*Abuelo George: Pues quítate el barro de los pantalones. Hay una fábrica esperándote.*

Charlie y la Fábrica de Chocolate. Roald Dahl.

*“Pero Arturo, ¿tú no sabes que el buey harto nunca se acuerda del flaco?”*  
Nicasio Romero. Ganadero.

## AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos..., la parte más agradable y gratificante de una Tesis. Por mi parte, sin duda, la más meditada. Pocas oportunidades tenemos de decir gracias a alguien, o por lo menos nuestra cultura, o mejor dicho nuestra sociedad, no nos lo permite o no lo ve del todo bien. Aquí se puede. Pero ¿y si te olvidas de alguien? ¿y los que vienen después? A veces pienso que es por ellos por los que he hecho esta Tesis.

Así que Alberto y Alfonso gracias por creer en mí, por acompañarme durante los 5 años, por mostrarme el mundo del R, y por todos los consejos en los momentos de desesperación que nunca se olvidan, como por poner un único ejemplo, qué eran las tuberías de Windows. El artículo, sin vuestra colaboración, no podría haberlo publicado. Si hoy se está leyendo esta Tesis, es gracias a vosotros.

Pero todo tiene un inicio, y ese es la familia de Luken, Ekain y Markel. Vuestro ánimo durante los 10 años que han durado carrera y Tesis ha sido fundamental. Además, Asier, tú no solo con palabras has ayudado, ya que leer las Tesis y corregirlas solo valientes como tú pueden hacerlo, me recuerda a las que escribieron nuestros ínclitos profesores de Caminos, cuando agradecían en las suyas a otros míticos profesores por ayudarles a mecanografiarlas.

También me han ayudado con la traducción del artículo, regalándome su tiempo John, Álvaro y Diego. Gracias porque un doctorado no es solo la Tesis, y vosotros sois parte de ese artículo.

Y si de Economía vamos a hablar, estos 10 años han sido muy duros para todas las empresas, y la nuestra no ha sido una excepción. Aun así, Josemi me has, no solo permitido, sino también impulsado a hacerlas. Lo mismo los compañeros, animando cada vez que iba a un examen y apoyando en el día a día. Sobre todo, Sergio. Hay personas que podrían ser Doctores y no son porque no quieren. Que investigan diariamente sin seguir un sistema reglado y lo que obtienen, al estar libres de ataduras es más valioso y mucho más amplio que lo que sale de una Tesis o una publicación. A ellos y a ti como exponente, la sociedad no os reconoce lo obtenido, pero por supuesto no os importa. Yo sí lo reconozco. Me alegro de haber tenido la suerte de haber podido trabajar contigo todos estos años.

Y vamos con los "olvidados". Héctor y Pili, gracias por ayudarme a programar cuando lo he necesitado, ya que no es fácil llamar a alguien en esos momentos, y si puedes, lo normal es que no te atiendan. Pero vosotros, siempre sonrientes incluso en los momentos difíciles, sois de los que estáis siempre dispuestos a ayudar.

O Pablo, tu gran ayuda en Santander hace ya 25 años. Los niños de hoy quieren ser como Ronaldo o como esos efímeros cantantes. Nosotros queríamos ser como tú y aunque sabíamos que era casi imposible, tener un referente al que seguir, fue y ha seguido siendo, la clave del éxito.

Y Rubén, una de las personas más ocupadas que conozco, abriéndome tu despacho, escuchando las defensas previas, cancelando reuniones para hacerlo, animándome de corazón. Semejante descuido por mi parte en la primera, y que hayas vuelto a hacerlo, solo se explica desde una profunda amistad.



A David, que hiciste tu Tesis, mientras luchabas contra un enemigo invisible y contra el reloj, gracias por hacerme valorar la vida como se debe valorar. Nunca te olvidaré.

Siempre me ha llamado la atención que en los agradecimientos de las Tesis Doctorales de otras culturas siempre agradecen a Dios y aquí nadie lo hace. Y yo creo que es justo reconocer, que en los momentos de mayor dificultad y agobio de esta Tesis sobre todo en los últimos días, la Virgen de Valvanera, bajo la que uno ha crecido, me ha escuchado en numerosas ocasiones, por lo que es de justicia agradecerle también su ayuda.

Es difícil poner a los amigos porque no puedes poner a todos, pero Pancho, Álvaro, David, Íñigo, Roberto debéis estar aquí. Y a los que me iluminan con su vasta cultura, como Diego o Julián, que nunca dejáis de sorprenderme con vuestros conocimientos sobre cualquier tema y eso me abre puertas que nunca habría encontrado yo solo.

Raúl ¿qué te puedo agradecer que no te haya dicho ya durante este cuarto de siglo? Solo pido que sigamos siendo amigos otros 30. Nunca un deseo será tan fácil de cumplir.

A Amaia y Patricia. Cuando pienso en Amaia y Julia siempre veo sus caricias en las frías mañanas de colegio al encontrarse. Dos niñas pequeñas, mirándose, sin hablar, abrazándose, acariciándose. El ruido ensordecedor se apagaba. Alrededor todo desaparecía. El día se iluminaba durante esos minutos. Y yo me preguntaba ¿no podría ser siempre así? ¿Quién ha dicho que la vida no puede ser así?

A Lara y su mamá. ¿Qué puedo decir? ¿Gracias? Demasiado simple. Tantos juegos, tantos libros, tantos paseos, tantas risas, tantos... Quién sabe por dónde conducirá la vida a David y Lara. Pero nosotros seguiremos recordando siempre a esa niña y a su mamá que tanto habéis significado para él en los primeros e importantes años de su vida.

Y ese camino que les queda por recorrer seguramente dependerá de sus profesores. Yo he tenido mucha suerte. Jose tú despertaste en mi la pasión por aprender y José Manuel la completaste. Juanmi volviste a hacerme creer cuando la pasión se perdía. Espero que, como hasta ahora, sigan encontrándose con maestros con ilusión.

María Eugenia ¿Qué te puedo decir? ¿Gracias por permitirme hacer la Tesis? ¿Perdona por el tiempo robado? No, demasiado sencillo también. Gracias por educar tan bien a David y Julia, por enseñarnos a decir te quiero, por mostrarnos todos los valores que hacen que 2 padres y 2 hijos sean una familia, y que una casa se convierta en un hogar con amor.

Y para terminar, David y Julia, como ya he dicho, quién sabe qué haréis en el futuro. ¿Me gustaría asistir a vuestra defensa de una Tesis Doctoral? No hay duda de que así es, pero de verdad, para mí no es lo más importante. Será suficiente con que tengáis ganas de aprender, de no conformaros con lo que os cuentan, y sobre todo, con que tengáis ganas de soñar, que intentéis cumplir esos sueños y, que esta sociedad no os haga insensibles a lo que ocurra en otros lugares y a otras gentes.

## RESUMEN

Los métodos tradicionales utilizados para la valoración de proyectos inmobiliarios, como el Valor Actual Neto, tienen algunas limitaciones, ya que estos métodos no consideran la posibilidad de un cambio en las condiciones iniciales del proyecto o durante su desarrollo. Por otra parte, el enfoque de opciones reales permite introducir flexibilidad a la hora de evaluar un proyecto inmobiliario, mejorando el proceso de toma de decisiones, ya que ayuda a identificar la estrategia y el momento óptimo para cada fase de la promoción.

Mientras que en otros sectores como el minero o el farmacéutico hace tiempo que sus proyectos son analizados con opciones reales, no es así en el sector inmobiliario, pese a que es posible la adaptación de las opciones reales a las particularidades de estos proyectos.

La importancia de los proyectos inmobiliarios para la economía nacional y también para la de los ciudadanos a nivel particular, hace necesario un análisis de todo el proceso y de sus riesgos para tratar de evitar fracasos en los proyectos. Por ello en la Tesis se indica cual es el procedimiento para estudiar en profundidad la situación del mercado inmobiliario, cuáles son los ingresos, los costes, los diferentes riesgos a los que se enfrentará y por último, las opciones reales adaptadas a la idiosincrasia de los proyectos inmobiliarios.

La Tesis evalúa un proyecto inmobiliario real en La Rioja (España), valorando diferentes opciones reales para calcular su Valor Actual Neto final. Se han escrito varios scripts o programas en R que permiten calcular el valor de las opciones reales por diferentes métodos como Black - Scholes, el método Binomial o por Monte Carlo. Los resultados muestran que el proyecto inmobiliario sería rentable en varios escenarios, aunque las valoraciones pueden variar significativamente entre los diferentes tipos de opciones. Ello se debe a que algunas opciones añaden más valor al proyecto que otras, dependiendo de su coste y de la incertidumbre que eliminan. En cambio, los resultados obtenidos con el método tradicional habrían llevado a un promotor inmobiliario a descartar completamente el proyecto, ya que su Valor Actual Neto habría sido negativo. Esto confirma que la introducción de flexibilidad en los desarrollos inmobiliarios crea un valor adicional al permitir a los promotores e inversores reaccionar de forma dinámica a los cambios del mercado, ayudándoles así a tomar mejores decisiones de inversión y a encontrar oportunidades de inversión inmobiliaria que de otra forma habrían sido descartadas.

## ABSTRACT

Traditional methods used for real estate project valuation, such as the static Net Present Value, have some limitations, as these methods do not consider the possibility of a change in the initial conditions of the project, or during its development. On the other hand, real options approach allows to introduce flexibility when it comes to evaluate a real estate project, improving the decision-making process as it helps to identify the optimal strategy and timing for the construction phases.

While in other sectors such as mining or pharmaceuticals their projects have long been analyzed with real options, this is not the case in the real estate sector, even though it is possible to adapt the real options to the specific characteristics of these projects.

The importance of real estate projects for the national economy and also for people at a particular level, makes it necessary to analyze the whole process and its risks in order to try to avoid project failure. Therefore, the Thesis indicates the procedure to study in depth the situation of the real estate market, which are the incomes, the costs, the different risks that will be faced and finally, the real options adapted to the idiosyncrasy of the real estate projects.

The Thesis evaluates an actual real estate project in La Rioja (Spain), using different options to estimate its final Net Present Value. Several scripts or programs have been written in R, to calculate the value of real options by different methods such as Black - Scholes, the Binomial method or by Monte Carlo. The results show that the real estate project would be profitable under several scenarios, although the valuations can vary significantly among the different types of options. This is because some options add more value to the project than others, depending on their cost and on the uncertainty they eliminate. In contrast, results obtained using the traditional static method would have led a real estate developer to completely discard the project, as its Net Present Value would have been negative. This confirms that the introduction of flexibility in real estate developments creates additional value by allowing developers and investors to dynamically react to changes in the market, thus helping them to make better investment decisions and find real estate investment opportunities that otherwise would not be considered at all.

# Índice general

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN	21
1.1.1. Importancia del sector inmobiliario en España.	21
1.1.2. Valoración de proyectos inmobiliarios	26
1.2. INVESTIGACIONES PREVIAS	27
1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS	31
1.3.1. Objetivos generales	31
1.3.2. Objetivos específicos	32
1.4. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA TESIS	33
<b>2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS</b>	<b>35</b>
2.1. MÉTODOS TRADICIONALES	36
2.1.1. Valor Actual Neto	37
2.1.2. Tasa Interna de Retorno	40
2.1.3. Tasa Interna de Rendimiento Modificada	42
2.1.4. Índice de Rentabilidad y Relación Beneficio / Coste	43
2.1.5. Plazo de Recuperación de la Inversión	44
2.1.6. Plazo de Recuperación de la Inversión Descontado	45
2.1.7. Análisis de sensibilidad	45
2.2. NECESIDAD DE UNA ALTERNATIVA	46
2.2.1. Estadísticas de utilización	46
2.2.2. Las Opciones Reales como alternativa.	48
<b>3. LAS OPCIONES REALES</b>	<b>53</b>
3.1. DEFINICIÓN	53
3.1.1. Analogía entre opciones financieras y opciones reales	56
3.2. TIPOS DE OPCIONES REALES.	63
3.2.1. Aplazamiento	64
3.2.1.1. Inversión	65
3.2.2. Expansión	66
3.2.3. Abandono	67
3.2.4. Operativas y flexibilidad tecnológica	69
3.2.4.1. Abandono temporal	70
3.2.4.2. Reducir	70
3.2.4.3. Operativas y flexibilidad tecnológica	70
3.2.5. Aprendizaje	71
3.2.6. Compuesta	72

## Índice general

3.2.7.	Subcontratar . . . . .	73
3.2.8.	Barrera . . . . .	73
3.2.9.	Arco Iris . . . . .	74
3.3.	MÉTODOS DE VALORACIÓN DE LAS OPCIONES REALES . . . . .	75
3.3.1.	Fórmula de Black - Scholes . . . . .	76
3.3.2.	Método Binomial . . . . .	82
3.3.3.	Método de Monte Carlo . . . . .	93
3.3.4.	El método de diferencias finitas . . . . .	96
3.3.5.	El método de mínimos cuadrados . . . . .	99
3.3.6.	Estimación de parámetros . . . . .	99
3.3.7.	Elección del modelo adecuado . . . . .	106
3.4.	GESTIÓN DE LAS OPCIONES REALES . . . . .	106
<b>4.</b>	<b>PROYECTOS INMOBILIARIOS</b> . . . . .	<b>110</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN . . . . .	110
4.2.	ANÁLISIS DEL ESTADO DEL MERCADO INMOBILIARIO . . . . .	112
4.2.1.	Transformación de los datos de la serie licencias . . . . .	114
4.2.2.	Correlograma de la serie licencias . . . . .	119
4.2.3.	Predicción de la serie licencias . . . . .	124
4.3.	ANÁLISIS DE LOS INGRESOS DE UN PROYECTO INMOBILIARIO . . . . .	129
4.3.1.	Ventas . . . . .	131
4.3.1.1.	Aclaraciones técnicas . . . . .	131
4.3.1.2.	Precios . . . . .	133
4.3.1.3.	Evolución del precio de la vivienda en España. . . . .	136
4.3.2.	Alquileres . . . . .	144
4.3.3.	Subvenciones . . . . .	146
4.3.4.	Otros . . . . .	147
4.4.	ANÁLISIS DE LOS COSTES DE UN PROYECTO INMOBILIARIO . . . . .	147
4.4.1.	Suelo . . . . .	148
4.4.2.	Urbanización . . . . .	153
4.4.3.	Construcción . . . . .	155
4.4.4.	Otros . . . . .	158
4.5.	RIESGOS DURANTE UN PROYECTO INMOBILIARIO . . . . .	162
4.5.1.	Riesgos urbanísticos . . . . .	162
4.5.2.	Caída de la demanda . . . . .	162
4.5.3.	Caída del precio de la vivienda . . . . .	164
4.5.4.	Aumento de costes . . . . .	164
4.5.5.	Cambios en la inflación . . . . .	165
4.6.	ADAPTACIÓN DE LAS OPCIONES REALES A UN PROYECTO INMOBILIARIO . . . . .	165
4.6.1.	Opción aplazamiento e inversión . . . . .	166
4.6.2.	Opción expansión . . . . .	166
4.6.3.	Opción abandono o reducción . . . . .	169
4.6.4.	Operativas y flexibilidad tecnológica . . . . .	169

## Índice general

4.6.5.	Aprendizaje	170
4.6.6.	Compuesta	171
4.6.7.	Subcontratar	171
4.6.8.	Barrera	172
4.6.9.	Arco Iris	172
<b>5.</b>	<b>MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES</b>	<b>173</b>
5.1.	MODELO UTILIZADO EN LA TESIS	173
5.2.	CÁLCULO DE PARÁMETROS	175
5.3.	DESARROLLO DEL MODELO	178
5.3.1.	El modelo Lognormal	178
5.3.2.	Fórmula de Black-Scholes	181
5.3.3.	Precio de opciones con simulación de Monte Carlo	183
5.3.4.	Precio de opciones con árboles binomiales	185
5.4.	ADAPTACIÓN DE LOS SCRIPTS AL CÁLCULO DE OPCIONES REALES	191
<b>6.</b>	<b>APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO</b>	<b>212</b>
6.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	213
6.1.1.	Análisis urbanístico y arquitectónico	213
6.1.2.	Cuenta de explotación	225
6.1.3.	Cálculo del VAN del proyecto	252
6.2.	CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD DEL PROYECTO	254
6.2.1.	Volatilidad histórica de los precios de la vivienda	257
6.2.2.	Volatilidad histórica de las cotizaciones de empresas inmobiliarias	257
6.2.3.	Volatilidad implícita de las cotizaciones de opciones o warrants de empresas inmobiliarias	258
6.2.4.	Volatilidad de los flujos de caja	259
6.2.4.1.	Cálculo con el método de la volatilidad histórica	259
6.2.4.2.	Cálculo con método de combinación de incertidumbres	261
6.2.5.	Volatilidad del VAN mediante método de Monte Carlo	262
6.2.6.	Volatilidad por estimación del gerente	263
6.2.7.	Valor escogido para la volatilidad	265
6.3.	OPCIONES REALES EXISTENTES EN ESTE PROYECTO	265
6.3.1.	Opción aplazamiento e inversión	267
6.3.2.	Opción expansión	270
6.3.3.	Opción abandono o reducción	274
6.3.4.	Operativas y flexibilidad tecnológica	282
6.3.5.	Aprendizaje	287
6.3.6.	Compuesta	290
6.3.7.	Subcontratar	295
6.3.8.	Barrera	296
6.3.9.	Arco Iris	304
6.3.10.	Escoger	307
6.3.11.	Resumen de las opciones del proyecto	312

## Índice general

<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>313</b>
<b>8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>320</b>
<b>A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS</b>	<b>322</b>
A.1. LAS GRIEGAS O SENSIBILIDADES DE UNA OPCIÓN. . . . .	322
A.2. CÁLCULO DE DELTA, $\Delta$ . . . . .	324
A.3. CÁLCULO DE GAMMA, $\Gamma$ . . . . .	326
A.4. CÁLCULO DE THETA, $\Theta$ . . . . .	328
A.5. CÁLCULO DE VEGA, $\nu$ . . . . .	329
A.6. CÁLCULO DE RHO, $\rho$ . . . . .	331
<b>B. CÓDIGO EN R</b>	<b>335</b>
B.1. EVOLUCIÓN DE PRECIO SEGÚN DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL . .	335
B.2. FÓRMULA DE BLACK-SCHOLES . . . . .	337
B.3. CÁLCULO DE OPCIONES CON EL MÉTODO DE MONTE CARLO . .	339
B.4. CÁLCULO DE OPCIONES CON ÁRBOLES BINOMIALES . . . . .	341
B.4.1. Alteración para opción expansión . . . . .	345
B.4.2. Alteración para opción abandono . . . . .	347
B.4.3. Alteración para contraer . . . . .	348
B.4.4. Alteración para flexibilidad tecnológica . . . . .	350
B.4.5. Alteración para opción compuesta secuencial . . . . .	353
B.4.6. Alteración para opción barrera . . . . .	354
B.4.7. Alteración para opción arco iris . . . . .	357
B.4.8. Alteración para opción escoger . . . . .	360
B.5. BÚSQUEDA DE LA DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE UNA MUESTRA DE DATOS . . . . .	364
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>377</b>

# Índice de figuras

2.1. Resultados encuesta utilización de métodos de valoración de proyectos (Graham y Harvey, 2001) . . . . .	47
2.2. Asimetría entre VAN total y tradicional al ejercer opciones reales (Palomares, 2010) . . . . .	51
3.1. Conveniencia de utilización de las opciones reales. (Kodukula y Papudesu, 2006) . . . . .	55
3.2. Efecto del valor del VAN sobre beneficios aportado por las opciones reales. (Kodukula y Papudesu, 2006) . . . . .	56
3.3. Beneficios netos de una opción <i>call</i> (Damodaran, 2007). . . . .	57
3.4. Beneficios netos de una opción <i>put</i> (Damodaran, 2007). . . . .	58
3.5. Opción de aplazamiento (Mendiola <i>et al.</i> , 2014). . . . .	65
3.6. Opción de expansión (Damodaran, 2007). . . . .	68
3.7. Opción de abandono (Damodaran, 2007). . . . .	69
3.8. Diagrama de pagos de opción <i>call</i> con barrera (Kodukula y Papudesu, 2006). . . . .	74
3.9. Árbol binomial de tres pasos con recombinación. (Mun, 2002) . . . . .	83
3.10. Árbol binomial de dos pasos sin recombinación (Mun, 2002) . . . . .	84
3.11. Paso 1 Cálculo binomial. Evolución del subyacente (Mun, 2002) . . . . .	90
3.12. Paso 2 Cálculo binomial. Valores de opciones europeas (Mun, 2002). . . . .	91
3.13. Evolución de precios de una acción en un caso determinístico (Mun, 2002) . . . . .	92
3.14. Evolución de precios de una acción en un caso estocástico (Mun, 2002) . . . . .	93
3.15. Malla de puntos para la aproximación mediante diferencias finitas. (Otero <i>et al.</i> , 2008) . . . . .	97
3.16. Distribución Normal (Wikipedia, 2017) . . . . .	103
3.17. Distribución Lognormal (Wikipedia, 2017) . . . . .	104
3.18. Distribución Uniforme (Wikipedia, 2017) . . . . .	104
3.19. Distribución Triangular (Wikipedia, 2017) . . . . .	105
3.20. Distribución Discreta (Wikipedia, 2017) . . . . .	105
3.21. Momento de ejecución de las opciones en función de la competitividad y su exclusividad (Kester, 1984). . . . .	109
4.1. Licencias de construcción en número de viviendas (Elaboración propia a partir de datos de Banco de España (2015)). . . . .	114
4.2. Logaritmo de número de viviendas (Elaboración propia). . . . .	116
4.3. Primeras diferencias del logaritmo de unidades de viviendas (Elaboración propia). . . . .	118



## Índice de figuras

4.4. Diferencia anual de las primeras diferencias del logaritmo de unidades de viviendas (Elaboración propia). . . . .	119
4.5. Función de autocorrelación total (FAC) y parcial (FACP) datos con diferencias (Elaboración propia) . . . . .	120
4.6. Datos y predicción obtenida con Gretl con modelo MA(1) en datos transformados (Elaboración propia). . . . .	124
4.7. Datos y predicción obtenida con Gretl con modelo SARIMA (0,1,1) (0,1,1) en datos sin transformar (Elaboración propia). . . . .	126
4.8. Contraste de normalidad de los residuos (Elaboración propia). . . . .	127
4.9. Series estimada y observada en el tiempo (Elaboración propia). . . . .	128
4.10. Serie estimada frente a observada. (Elaboración propia) . . . . .	128
4.11. Residuos de la regresión frente al tiempo. (Elaboración propia) . . . . .	129
4.12. Residuos de la regresión. (Elaboración propia) . . . . .	130
4.13. Correlograma de los residuos de la regresión. (Elaboración propia) . . . . .	130
4.14. Precio medio de la vivienda menor de 2 años en euros por metro cuadrado (Elaboración propia y Banco de España, 2015). . . . .	137
4.15. Logaritmo del Precio medio de la vivienda menor de 2 años (Elaboración propia). . . . .	139
4.16. Primeras diferencias del logaritmo del precio medio de la vivienda menor de 2 años (Elaboración propia). . . . .	139
4.17. Segundas diferencias del logaritmo del precio medio de la vivienda menor de 2 años. (Elaboración propia) . . . . .	140
4.18. Correlograma del precio medio de la vivienda menor de 2 años en segunda diferencia de logaritmo de euros (Elaboración propia). . . . .	141
4.19. Previsión del precio medio de la vivienda menor de 2 años en euros (Elaboración propia). . . . .	144
4.20. Árbol de decisión en promoción por fases (Rocha <i>et al.</i> , 2007). . . . .	168
5.1. Ajuste de la serie precio a la distribución Normal(a) y Lognormal (b) (Elaboración propia). . . . .	180
5.2. Ajuste de la serie ratio de incremento de precios a la distribución Normal (a) y Lognormal (b) (Elaboración propia). . . . .	180
5.3. Cálculo del precio de opciones con el método de Monte Carlo y fOptions con diferentes delta t (Elaboración propia). . . . .	185
5.4. Árbol 1 con evolución de precio del subyacente para ejemplo de la tabla 5.7 (Elaboración propia). . . . .	187
5.5. Árbol 2 con precio de la opción para ejemplo de la tabla 5.7 (Elaboración propia). . . . .	188
5.6. Representación del árbol 2 del ejemplo 5.7 calculado íntegramente con fOptions (Elaboración propia). . . . .	188
5.7. Resultados para el mismo ejemplo que el de la figura 5.6 pero en el caso de opción europea (Elaboración propia). . . . .	189
5.8. Árbol 1 del ejemplo de la opción aplazamiento (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	193

## Índice de figuras

5.9. Árbol 2 del ejemplo de la opción aplazamiento. (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia) . . . . .	193
5.10. Árbol 1 del ejemplo de la opción expansión (Mun, 2002) y (elaboración propia). . . . .	194
5.11. Árbol 2 del ejemplo de la opción expansión. (Mun, 2002) y (elaboración propia) . . . . .	195
5.12. Árbol 1 para ejemplo de opción de abandono (Mun, 2002) y (elaboración propia). . . . .	196
5.13. Árbol 2 para ejemplo de opción de abandono (Mun, 2002) y (elaboración propia). . . . .	197
5.14. Árbol 1 del ejemplo de la opción contraer (Mun, 2002) y (elaboración propia). . . . .	198
5.15. Árbol 2 del ejemplo de la opción contraer (Mun, 2002) y (elaboración propia). . . . .	199
5.16. Árbol 1 del primer proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en Mascareñas <i>et al.</i> (2003)). . . . .	200
5.17. Árbol 1 del segundo proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en Mascareñas <i>et al.</i> (2003)). . . . .	200
5.18. Árbol 2 del ejemplo de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en Mascareñas <i>et al.</i> (2003)). . . . .	201
5.19. Árbol 1 del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	202
5.20. Árbol 2 temporal para la tercera opción del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	203
5.21. Árbol 2 temporal para la segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	204
5.22. Árbol 2 definitivo para la primera, segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	204
5.23. Árbol 1 del ejemplo de la opción inversión con barrera (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	206
5.24. Árbol 2 del ejemplo de la opción inversión con barrera. (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	207
5.25. Árbol 1 del ejemplo de la opción arco iris (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	208
5.26. Árbol 2 del ejemplo de la opción arco iris (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	209
5.27. Árbol 1 del ejemplo de la opción escoger (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	210
5.28. Árbol 2 del ejemplo de la opción escoger (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia). . . . .	211

## Índice de figuras

6.1. Plano de ordenación del Plan General de Ordenación Urbana del municipio (Gobierno de la Rioja, 1999). . . . .	214
6.2. Límites del Sector 11 en el Plan Parcial (Romero <i>et al.</i> , 2004a). . . . .	216
6.3. Manzanas del Sector 11 en el Plan Parcial (Romero <i>et al.</i> , 2004a). . . . .	217
6.4. Parcelas aportadas al Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b). . . . .	218
6.5. Parcelas resultantes del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b). . . . .	220
6.6. Parcela resultante número 2 del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b). . . . .	223
6.7. Evolución del precio de la vivienda libre nueva en La Rioja (Ministerio de Fomento, 2016) y (elaboración Propia). . . . .	232
6.8. Comparación de precios con distribución Normal teórica (Elaboración propia). . . . .	234
6.9. Comparación de precios con distribución Lognormal teórica (Elaboración propia). . . . .	235
6.10. Comparación de precios con distribución Geométrica teórica (Elaboración propia). . . . .	235
6.11. Comparación de precios con distribución Uniforme teórica (Elaboración propia). . . . .	236
6.12. Comparación de precios con distribución Logística teórica (Elaboración propia). . . . .	236
6.13. Comparación de precios con distribución Weibull teórica (Elaboración propia). . . . .	237
6.14. Comparación de precios con distribución Triangular teórica (Elaboración propia). . . . .	237
6.15. Comparación de precios con distribución Betagen teórica (Elaboración propia). . . . .	238
6.16. Comparación de precios con función de distribución CDF (Elaboración propia). . . . .	238
6.17. Comparación de precios con funciones de densidad teóricas (Elaboración propia). . . . .	239
6.18. Comparación de precios con cuantiles teóricos QQ (Elaboración propia). . . . .	239
6.19. Comparación de precios con probabilidades teóricas PP (Elaboración propia). . . . .	240
6.20. Ajuste a la distribución Weibull de los costes de la construcción (Elaboración Propia) . . . . .	241
6.21. Ajuste a la distribución Gamma de los costes del suelo (Elaboración Propia) . . . . .	245
6.22. Ejemplos de distribuciones tipo Beta con diferentes parámetros (Elaboración propia con la herramienta de Wessa (2017)). . . . .	248
6.23. Árbol 1 de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia). . . . .	268
6.24. Árbol 2 de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia). . . . .	268

## Índice de figuras

6.25. Árbol con decisión de inversión o aplazamiento de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia). . . . .	269
6.26. Árbol 1 de la opción expansión (Elaboración propia). . . . .	271
6.27. Árbol 2 de la opción expansión (Elaboración propia). . . . .	272
6.28. Árbol con decisión de expansión de la opción expansión del proyecto (Elaboración propia). . . . .	272
6.29. Árbol 1 para opción de abandono (Elaboración propia). . . . .	276
6.30. Árbol 2 para opción de abandono (Elaboración propia). . . . .	277
6.31. Árbol con decisión de abandono de la opción abandono del proyecto (Elaboración propia). . . . .	277
6.32. Árbol 1 de la opción reducción (Elaboración propia). . . . .	280
6.33. Árbol 2 de la opción reducción (Elaboración propia). . . . .	280
6.34. Árbol con decisión de reducción de la opción reducción del proyecto. (Elaboración propia). . . . .	281
6.35. Árbol 1 del primer proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia). . . . .	284
6.36. Árbol 1 del segundo proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia). . . . .	284
6.37. Árbol 2 de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia). . . . .	285
6.38. Árbol con decisión de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia). . . . .	285
6.39. Árbol con probabilidades del proyecto (Primer paso). ((Perillo, 2013) y Elaboración propia). . . . .	289
6.40. Triángulo de Tartaglia o Pascal (Segundo paso). ((Perillo, 2013) y elaboración propia). . . . .	289
6.41. Árbol 1 de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia). . . . .	292
6.42. Árbol 2 temporal para la tercera opción de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia). . . . .	292
6.43. Árbol 2 temporal para la segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia). . . . .	293
6.44. Árbol 2 definitivo para la primera, segunda y tercera opciones compuestas de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia). . . . .	294
6.45. Árbol 2 definitivo combinado para la primera, segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia). . . . .	294
6.46. Árbol con decisión de inversión o aplazamiento de la opción compuesta secuencial del proyecto (Elaboración propia). . . . .	295
6.47. Árbol 1 de la opción inversión con barrera (Elaboración propia). . . . .	297
6.48. Árbol 2 de la opción inversión sin barrera (Elaboración propia). . . . .	298
6.49. Árbol 2 de la opción inversión con barrera (Elaboración propia). . . . .	298
6.50. Árbol 1 de la opción abandono con barrera (Elaboración propia). . . . .	301
6.51. Árbol 2 para opción de abandono sin barrera (Elaboración propia). . . . .	301
6.52. Árbol 2 para opción de abandono con barrera (Elaboración propia). . . . .	302
6.53. Árbol 1 de la opción arco iris para $t = 2$ años (Elaboración propia). . . . .	305

## Índice de figuras

6.54. Árbol 2 de la opción arco iris para $t = 2$ años (Elaboración propia). . . . .	305
6.55. Árbol 1 de la opción de inversión para $t = 2$ años (Elaboración propia) . .	306
6.56. Árbol 2 de la opción de inversión para $t = 2$ años (Elaboración propia). .	306
6.57. Árbol 1 de la opción escoger (Elaboración propia). . . . .	308
6.58. Árbol 2 de la opción escoger (Elaboración propia). . . . .	309
6.59. Árbol con decisión de la opción escoger del proyecto (Elaboración propia).	309
A.1. Valor de Delta en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017) . . . . .	325
A.2. Valor de Gamma en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017) . . . . .	327
A.3. Valor de Theta en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017) . . . . .	330
A.4. Valor de Vega en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017) . . . . .	332
A.5. Valor de Rho en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017) . . . . .	333

# Índice de tablas

1.1. Evolución de las principales magnitudes del sector inmobiliario. (Trigo e Investigadores IEE, 2014)	23
1.2. Las finanzas públicas y la actividad inmobiliaria en el año 2012. (Trigo e Investigadores IEE, 2014)	25
3.1. Efectos sobre las opciones de la variación de diferentes factores (Damodaran, 2007).	59
3.2. Analogía entre opciones financieras y reales (Fuente, 1999; Palomares, 2010).	62
3.3. Diferencias entre opciones financieras y reales (Mendiola <i>et al.</i> , 2014).	63
3.4. Relación <i>put-call</i> (Damodaran, 2007)	80
3.5. Retornos en precio en la fecha de expiración (Cox <i>et al.</i> , 1979)	84
4.1. Valores de contraste para el test de Dickey Fuller (Fuller, 1976).	116
4.2. Función de autocorrelación total (FAC) y parcial (FACP) (Elaboración propia).	121
4.3. Valores del Criterio de Información de Akaike para diferentes modelos (Elaboración propia).	122
4.4. Transformación de valores y predicción de licencias (Elaboración propia).	125
4.5. Valores del Criterio de Información de Akaike para diferentes modelos (Elaboración propia).	142
5.1. Evolución del precio de la vivienda y tratamiento de datos para modelo Lognormal (Banco de España, 2015) y (elaboración propia).	179
5.2. Resultados en cálculo de parámetros del modelo Lognormal (Elaboración propia).	181
5.3. Precio en $t=3$ años con 5.000 simulaciones (Elaboración propia).	182
5.4. Datos para ejemplo de cálculo de opción <i>call</i> (Haug, 2007) y (elaboración propia).	183
5.5. Datos para ejemplo de cálculo de opción <i>call</i> (Elaboración propia).	184
5.6. Datos para cálculo de opción <i>call</i> sobre precio de la vivienda (Elaboración propia).	186
5.7. Datos para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial (Haug, 2007) y (elaboración propia).	187
5.8. Datos para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial y Monte Carlo. (Winston, 1999) y (elaboración propia).	190
5.9. Extracto de la simulación de precios para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial y Monte Carlo (Elaboración propia)	190

## Índice de tablas

5.10. Extracto de rendimientos para la simulación de precios de la tabla 5.9 (Elaboración propia) . . . . .	191
6.1. Ficha urbanística del Sector 11 en el Plan General (Romero <i>et al.</i> , 2004a).	215
6.2. Extracto de la tabla de parcelas aportadas del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b) . . . . .	219
6.3. Extracto de la tabla de propietarios con aprovechamiento correspondiente del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b). . . .	219
6.4. Extracto de la tabla de parcelas resultantes del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b) . . . . .	221
6.5. Extracto de la tabla de costes por parcela del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero <i>et al.</i> , 2004b). . . . .	222
6.6. Posibilidades de combinaciones de número de viviendas y superficies útiles para la Parcela 2 (Elaboración propia). . . . .	224
6.7. Cuenta de resultados. Datos del proyecto (Elaboración propia). . . . .	227
6.8. Cuenta de resultados. Unidades para la venta (Elaboración propia). . .	230
6.9. Ajuste de los precios por máxima verosimilitud (likelihood) a varias distribuciones (Elaboración propia). . . . .	233
6.10. Ajuste de los precios en incrementos por máxima verosimilitud (likelihood) a varias distribuciones. (Elaboración propia) . . . . .	234
6.11. Cuenta de resultados. Precios de venta y costes de construcción (Elaboración propia). . . . .	242
6.12. Gastos del proyecto en un escenario aleatorio con la distribución correspondiente y parámetros necesarios (Elaboración propia). . . . .	250
6.13. Extracto de cuenta de resultados. Distribución temporal de flujos de caja (Elaboración propia). . . . .	251
6.14. Parámetros obtenidos con técnica de Monte Carlo para el VAN de la cuenta de explotación (Elaboración propia). . . . .	253
6.15. Warrants sobre Merlin Properties Socimi, S.A. emitidos y comercializados en España por Commerzbank AG (2017). . . . .	260
6.16. Parámetros obtenidos con técnica de Monte Carlo para el VA sin inversión inicial de la cuenta de explotación (Elaboración propia). . . . .	264
6.17. Volatilidad por diferentes métodos y valor medio. (Elaboración propia) .	266
6.18. Resultados opción aplazamiento e inversión en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	270
6.19. Resultados opción expansión en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . .	274
6.20. Resultados opción abandono en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . .	278
6.21. Resultados opción reducción en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . .	282
6.22. Resultados opción flexibilidad tecnológica en función de $\mu$ siendo igual en ambos proyectos (Elaboración propia). . . . .	287
6.23. Resultados opción flexibilidad tecnológica en función de $\mu$ siendo $\mu_2 = \mu_1 + 0.02$ (Elaboración propia). . . . .	288
6.24. Resultados opción inversión con barrera en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	299

*Índice de tablas*

6.25. Resultados opción inversión sin barrera en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	300
6.26. Resultados opción abandono con barrera en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	303
6.27. Resultados opción abandono sin barrera en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	303
6.28. Resultados opción escoger en función de $\mu$ (Elaboración propia). . . . .	310
6.29. Resumen de resultados de las opciones del proyecto (Elaboración propia)	311



# 1. INTRODUCCIÓN

Y los enviados explicaban el mecanismo y el razonamiento del monstruo que era más fuerte que ellos. Un hombre puede conservar la tierra si consigue comer y pagar la renta: lo puede hacer.

Sí, puede hacerlo hasta que un día pierde la cosecha y se ve obligado a pedir dinero prestado al banco. Pero, entiendes, un banco o una compañía, no lo pueden hacer porque esos bichos no respiran aire, no comen carne. Respiran beneficios, se alimentan de los intereses del dinero. Si no tienen esto mueren, igual que tú mueres sin aire, sin carne. Es triste, pero es así. Sencillamente es así.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

Desde el nacimiento de las opciones reales a finales del pasado siglo, la investigación sobre opciones reales ha sido muy intensa en universidades de todo el mundo, como lo demuestra el gran número de artículos publicados sobre el tema. Sobre todo, el mayor interés se da desde el año 2005 en adelante como se observa en la búsqueda en bases de datos electrónicas o en bibliotecas como la de la UNED con acceso a un gran número de revistas especializadas. Como en la mayoría de las investigaciones de cualquier campo del conocimiento el inglés es el idioma predominante, ya que, aunque los autores españoles publican en español, los de idioma nativo de menos uso, prefieren el inglés frente al suyo propio. En cualquier caso, se comprueba que es un tema que desde su nacimiento, mantiene un gran interés dentro del mundo académico.

Pero una vez que parece que académicamente se ha alcanzado un buen desarrollo, la pregunta que surge es si se está produciendo la transferencia deseada a la economía real y a las empresas.

La respuesta depende del sector de la economía que se esté analizando. Por ejemplo, determinadas industrias como las farmacéuticas, o extractivas como mineras o petroleras, fueron las primeras en usar el método de valoración por opciones reales como herramienta de análisis de sus inversiones. Pero hay otros sectores en los que todavía no se ha realizado la transferencia. El sector inmobiliario es uno de ellos.

### 1.1.1. Importancia del sector inmobiliario en España.

El sector inmobiliario en España es uno de los fundamentales desde el punto de vista de la economía, pese a haber disminuido su importancia en los últimos años debido a la

## 1. INTRODUCCIÓN

terrible crisis económica que desde el año 2008 asola el país. En el Informe sobre el Sector Inmobiliario elaborado por el Instituto de Estudios Económicos se realiza un análisis a fondo de su situación. A continuación se aportan datos y conclusiones extraídos de dicho informe. Se aportan también datos que permiten valorar la crisis inmobiliaria sufrida por el país desde el año 2008, y como se ha dicho, la importancia del sector inmobiliario en la economía española. (Trigo e Investigadores IEE, 2014). La mayoría de las conclusiones sobre la importancia del sector pueden ser extrapolables a otros países, aunque debe realizarse un estudio para conocer en qué parte del ciclo económico se encuentra su economía:

- Desde el año 1993 al año 2008 España vivió una etapa de crecimiento económico sin interrupción, con el consiguiente descenso del desempleo y aumento del nivel de vida de los españoles. Esto provocó también un aumento de la población por la atracción que dichas condiciones ejercían sobre los inmigrantes. Este crecimiento se fundamentó principalmente en la industria inmobiliaria, tanto en términos de producción, como de valor añadido o de empleo.
- En el año 2007 se desencadenó la crisis de ámbito mundial de las hipotecas *subprime*, que tardó un año en notarse en las cifras del sector inmobiliario, debido entre otras causas a la inercia del ciclo de producción de un proyecto inmobiliario, que se comentará más adelante en esta Tesis.
- La actividad inmobiliaria contribuye a mejorar el bienestar social a través de varias vías. Por un lado, contribuye al empleo por ser un sector que demanda gran cantidad de mano de obra, pero es que además tiene un efecto de arrastre porque al ser consumidor de gran cantidad de materiales, contribuye al crecimiento del empleo en la industria y en el sector servicios. Por otra parte, contribuye al saneamiento de las administraciones públicas por las tasas e impuestos que aplican sobre los edificios que se construyen, y sin olvidar que se provee a la sociedad de una de sus necesidades básicas como es la vivienda, mejorando con la vivienda nueva la calidad de vida de las personas.
- En el año 2008, el valor añadido generado por la edificación y por los servicios inmobiliarios representaba más de un 20 % del PIB, mientras que en el año 2013 aún generaba el 13 %. La contracción del sector inmobiliario ha sido mucho mayor que la del resto de los sectores, por ejemplo, en los tres primeros años de la crisis se contrajo un 10 % anual, mientras que el resto de los sectores cayeron un 1,4 %.
- En cuanto al empleo, en el año 2008 un 8 % de los ocupados lo estaban en el sector inmobiliario. En el año 2013 este porcentaje descendió hasta el 4,9 %. Además, desde el punto de vista social, resulta también importante porque muchos de los ocupados son personas sin estudios que tienen difícil su incorporación al mundo laboral en otro sector.
- En la tabla 1.1 se muestra la evolución de las principales magnitudes del sector inmobiliario.

## 1. INTRODUCCIÓN

Principales macromagnitudes de la industria inmobiliaria						
Indicador	2008	2009	2010	2011	2012	2013
VAB (millones de €)	177.538	161.203	149.678	145.512	139.640	135.027
FBCF (millones de €)	142.363	111.411	99.381	84.273	71.466	60.971
(1) Empleo (miles)	2.085	1.535	1.333	1.152	965	828
(2) Empleo totales	20.244	18.872	18.442	18.090	17.266	16.738
% Empleo = (1) / (2)	10,30 %	8,13 %	7,23 %	6,36 %	5,59 %	4,95 %
PIB (millones de €)	1.087.788	1.046.894	1.045.620	1.046.327	1.029.279	1.022.988
(3) Empleo UE-27 (miles)	15.351	14.112	13.631	26.308	13.187	12.513
(4) Empleo total UE-27	221.211	217.371	215.818	216.344	216.011	215.573
% Empleo = (3) / (4)	6,94 %	6,49 %	6,32 %	12,16 %	6,10 %	5,80 %

∇ En términos reales de las principales macromagnitudes del sector (%)						
Indicador	2009	2010	2011	2012	2013	
VAB-Edificación	-8,2	-16,5	-9,0	-8,6	-7,7	
VAB-Actividades inmobiliarias	0,0	-1,2	3,0	1,1	-0,2	
FBCF-Vivienda	-20,4	-11,4	-12,5	-8,7	-8,0	
FBCF-Construcción no residencial	-12,2	-8,4	-9,2	-10,6	-16,2	
Ocupación	-26,5	-13,2	-13,0	-15,8	-14,1	

Tabla 1.1.: Evolución de las principales magnitudes del sector inmobiliario. (Trigo e Investigadores IEE, 2014)

## 1. INTRODUCCIÓN

Pero se cometería un importante error si solamente se atendiera a los datos directos. El sector inmobiliario tiene unos importantes efectos indirectos sobre el resto de la economía. Posiblemente ningún sector tiene tantos importantes efectos de manera tan acusada. Siguiendo con el informe del Instituto de Estudios Económicos, se pueden citar los siguientes (Trigo e Investigadores IEE, 2014):

- Efectos sobre el sector financiero. La compra de una vivienda supone una cuantía tan alta que en la mayoría de los casos debe ser acompañada de una hipoteca. En los años previos a la crisis era muy sencillo acceder a este tipo de préstamos, y aunque normalmente los bancos financian hasta el 80 % del valor de la vivienda, no era nada extraño que los préstamos alcanzaran más del 100 % del valor. El tipo de interés solía estar referenciado al Euribor a un año más un diferencial. Los años para los que se solicitaba el préstamo, pasaron de los 24 años de 2004 a los 28 en 2007, pero en 2013 ya estaba situado en los 22 años. Durante la primera década del nuevo siglo, las entidades españolas basaron su estrategia de crecimiento en la concesión de hipotecas por lo que en su balance aumentaron significativamente este tipo de préstamos, que hizo que al comenzar la crisis y aumentar el desempleo, muchas personas y sobre todo empresas no pudieran pagar, pasando los activos hipotecados al balance de las entidades bancarias. Por todo esto, se pueden enumerar, entre otros, los siguientes efectos indirectos que la crisis del sector inmobiliario puede ocasionar sobre el sector financiero:
  - Paralización de la concesión de créditos, con el perjuicio consiguiente para el resto de la economía del país.
  - Aumento de la morosidad y de los activos inmobiliarios sin valor en el balance de los bancos. Para evitar la caída de muchos de ellos ha sido necesaria la fusión de entidades, aunque algunos tuvieron que ser rescatados por el gobierno finalmente.
  - El tipo de préstamos concedido a tipo de interés variable referenciado al Euribor, con diferenciales muy pequeños, en muchos casos del 0,35 %, ha hecho que pese a que al principio del año 2016 el aumento de la morosidad haya dejado de ser un problema para las entidades, debido a que con el paso del tiempo se van cancelando las hipotecas y en todo caso disminuyendo los años a vencimiento quedando ya los clientes más solventes, surja un nuevo problema por las políticas que están aplicando los bancos centrales de todo el mundo, y en concreto el Banco Central Europeo, haciendo que el Euribor a un año, presente valores negativos, con el consiguiente daño a la cuenta de resultados de los bancos.
- Efectos sobre las finanzas públicas. El sector inmobiliario fue en los años previos a la crisis uno de los que mayor aporte a las finanzas públicas efectuaban. Tomando datos de Pou (2007), en el año 2004 los ingresos derivados de la actividad inmobiliaria eran del 3,2 % del PIB, unos 32.000 millones de euros. Siguiendo su metodología Trigo e Investigadores IEE (2014), bajó en el año 2012 al 2,3 %, unos

## 1. INTRODUCCIÓN

Concepto	Total		Sector inmobiliario	
	Millones €	%	Millones €	%
Cotizaciones Seguridad Social e INEM	75.992	40,3	2.546	1,4
Impuesto Renta Personas Físicas	51.853	27,5	9.629	5,1
Impuesto Valor Añadido	37.054	19,7	5.305	2,8
Impuesto sobre Sociedades	15.739	8,4	1.545	0,8
Impuesto Transmisiones Patrimoniales	3.766	2,0	2.277	1,2
Impuesto Actos Jurídicos Documentados	1.870	1,0	150	0,1
Impuesto Plusvalía	1.507	0,8	1.507	0,8
Impuesto Construcciones Instalaciones y Obras	676	0,4	676	0,4
Total Ingresos no financieros	188.457	100	23.634	12,5

Tabla 1.2.: Las finanzas públicas y la actividad inmobiliaria en el año 2012. (Trigo e Investigadores IEE, 2014)

23.600 millones de euros. Esta última cifra, supone el 12,5 % de la recaudación. Si ya ella sola da idea clara de su importancia todavía lo sería más si se detallara por tipo de administración, ya que por ejemplo las locales son más dependientes de este tipo de impuestos. En la tabla 1.2 se observa la importancia de cada uno de los impuestos a nivel agregado y la contribución a él del sector inmobiliario. La bajada de la recaudación de los impuestos ha tenido, entre otros, los siguientes efectos:

- Aumento de la deuda de las administraciones públicas hasta cifras récord. Este problema que sigue sin resolver y de muy difícil solución debería ser abordado, pero por diferentes motivos sigue creciendo y sin actuar sobre él.
  - Rebaja de calificaciones de rating por las agencias de calificación con la consiguiente dificultad de acceso a la financiación en los mercados financieros. Este problema se ha visto paliado por las políticas del Banco Central Europeo y en concreto por su programa de recompra de activos.
  - Aumento de los impuestos no relacionados con la coyuntura económica. El IBI o Impuesto de Bienes Inmuebles se paga simplemente por el hecho imponible de poseer un inmueble, por lo que ha sido aprovechado por los Ayuntamientos para reducir su déficit. Por ejemplo, se puede citar que en el año 2012 se recaudaron por este concepto 12.500 millones de euros, el doble que en el año 2004.
- Efectos sobre el consumo y la riqueza de los hogares. La acumulación de riqueza de los hogares españoles se materializa en inversiones financieras e inmobiliarias. Durante la fase alcista de los precios de la vivienda la riqueza inmobiliaria neta

## 1. INTRODUCCIÓN

pasó de (Trigo e Investigadores IEE, 2014) 1,74 billones de euros en el año 2000 a alcanzar un máximo de 5,17 billones en 2008 y bajó a 3,74 billones de euros en 2013. Esta variación en la riqueza de los hogares tiene, entre otros, los siguientes efectos:

- Aumento o reducción del consumo privado en correlación directa con el valor de la riqueza. A mayor riqueza mayor consumo, ya que pese a que el valor de un inmueble no es convertible en liquidez inmediata, ni tampoco es divisible, la seguridad de su alto valor aporta confianza al propietario a la hora de consumir.
  - Por el contrario, el aumento de precios actúa como reducción presupuestaria para el consumidor que acaba de comprar o tiene que hacerlo. Esta reducción además se traslada en el tiempo debido a la firma de hipotecas que se deben pagar en varios años.
  - El efecto neto de los dos efectos previos depende de las circunstancias del país, si hay mayor número de consumidores propietarios o de potenciales compradores o que acaban de comprar. Por ejemplo, en España la deuda acumulada por la compra de vivienda equivale al 15.8 % de su patrimonio tomando al total de las familias, pero la realidad es que hay familias que acaban de comprar su vivienda cuya deuda sobre patrimonio es del 80 % o incluso superior al 100 % en casos de depreciación del valor del inmueble y petición de hipoteca por el total del valor.
  - No se debe olvidar la importancia de otros parámetros que influye junto a los anteriores en el consumo de una familia o individuo. Por ejemplo, el temor a la pérdida del empleo hace que se retraiga el consumo en mayor medida que el efecto riqueza.
- Efectos sobre la actividad y el empleo de otros sectores. Ya se ha adelantado anteriormente que el sector inmobiliario repercute sobre otros sectores. Por ejemplo, para la construcción de una vivienda se necesita, hormigón, acero, como materiales básicos, pero también más elaborados, como calderas, placas solares, y por último, será necesario amueblar la casa y dotarla de electrodomésticos. Por lo tanto, la construcción de una vivienda influye en la industria, ingeniería, comercio, transporte de materiales a la obra, etc.

### 1.1.2. Valoración de proyectos inmobiliarios

Una vez analizada la importancia del sector inmobiliario para la economía española, se podría deducir, por lo tanto, que para el análisis de proyectos inmobiliarios se utilizarán las más modernas y complejas técnicas de análisis conocidas. Lamentablemente esto no es así.

Durante los años previos a la crisis, las frases más comunes eran del estilo “todo se vende”, “he comprado, porque mañana valdrá más caro”, etcétera. Esto hizo que personas sin ningún tipo de formación técnica o económica llegaran al sector de la promoción y consiguieran grandes beneficios, realizando, en ocasiones cuentas de resultados sin tener

## 1. INTRODUCCIÓN

ni tan siquiera en cuenta la actualización de rentas. Esta situación, que puede parecer increíble, se sustentaba en el crecimiento continuo de los precios de la vivienda que permitía disimular los errores. Pero esta situación terminó cuando los precios dejaron de subir y las ventas terminaron, dejando obras sin finalizar, compradores con sus ilusiones rotas, cuando no con mucho dinero ya adelantado perdido, y con los bancos, con gran cantidad de viviendas y suelos como activos en su balance.

Pero una vez que la crisis se ha encargado de eliminar a los no profesionales del sector, en la mayoría de los casos, la valoración de un proyecto inmobiliario sigue haciéndose por el método del Valor Actualizado Neto, VAN. Pero, debido a los problemas que presenta este método, se deberían utilizar otros métodos de análisis dado el alto valor de las inversiones inmobiliarias en las que un error en su planteamiento puede acabar con cuantiosas pérdidas para los inversores. Si a esto se añade la importancia para la economía del país en general, la justificación del esfuerzo de mejorar la valoración de los proyectos inmobiliarios queda hecha.

Las opciones reales presentan muchas ventajas sobre el VAN. Por citar solo algunas como ejemplo de las que más tarde se verán con detalle, dotan de flexibilidad al gerente en la toma de decisiones, lo cual tiene gran importancia en entornos volátiles. Es más, la existencia de volatilidad puede ser vista como favorable porque aportará mayor valor, por la posibilidad de gestionarla, lo cual, en la valoración tradicional del VAN, se contemplaba como algo negativo. O, por último, muchos proyectos que valorados por el método VAN se desecharían por aportar un valor negativo aunque cercano a cero, con las opciones reales sin embargo se aprobarían, aunque quizá más tarde algunos de ellos sean desechados.

### 1.2. INVESTIGACIONES PREVIAS

El primer trabajo que se debe hacer al afrontar cualquier Tesis doctoral debe ser estudiar cuales han sido las investigaciones previas sobre el tema y las conclusiones alcanzadas con el fin de poder orientar correctamente la investigación. Se han buscado libros, Tesis doctorales, artículos de investigación, ponencias en congresos, etc. El material encontrado ha sido sobre todo sobre opciones reales en general o aplicadas a industrias diferentes que la inmobiliaria. También se ha encontrado, no obstante, alguna investigación sobre proyectos inmobiliarios como más tarde se verá, pero su adaptación al mercado español, así como la creación de una herramienta informática para su cálculo está sin desarrollar completamente.

Es con [Black y Scholes \(1973\)](#) cuando comienza el desarrollo de las opciones como se conocen actualmente. Teniendo en cuenta que las opciones y los futuros existen desde prácticamente el siglo XVI podría parecer poco tiempo el pasado desde que publicaran su famoso artículo en el que exponían su conocida fórmula para la valoración de opciones. Pero desde entonces la investigación sobre estos productos ha sido muy intensa, aplicándola también al mundo financiero real con la creación de todo tipo de productos derivados. Estos productos, como es conocido no solo permiten la inversión en productos de alto riesgo, sino que también, permiten por ejemplo la creación de

## 1. INTRODUCCIÓN

seguros de cobertura para operaciones con cambio de divisas, entre otras.

Aunque Galai y Masulis (1976) fueron los primeros en sugerir que las opciones podían ser utilizadas para valorar decisiones de empresa, todo el mundo atribuye a Myers (1977) como el primero en hablar de “opciones reales”. En su artículo seminal comparaba las opciones financieras con las decisiones que una empresa, a través de sus gerentes, podía tomar sobre su deuda, pero posteriormente también fueron utilizadas para otros análisis como valoración de proyectos, imagen de marca, la fidelidad de clientes, etc.

Hayes y Garvin (1982) demuestran la importancia de analizar las inversiones no solo desde el punto de vista de los métodos tradicionales como el VAN, si no desde otros que planteen los problemas que surgirían con la competencia en el caso de tomar una decisión, ya que los procesos de inversión, en general en el futuro pueden ser irreversibles. Demuestran que es posible que dos empresas tomen una decisión diferente frente a una inversión estando satisfechas con la decisión tomada, aunque una de ellas puede haber tomado una decisión muy dañina para ella y recomienda a los gestores que profundicen en métodos de análisis de inversiones diferentes.

Majd y Pindyck (1987) indican que en aquellos proyectos en los que los gastos e ingresos sean secuenciales e incluso estos ingresos no existan hasta la finalización del proyecto, y además en ellos los gerentes puedan tomar decisiones que los modifiquen, los métodos tradicionales que toman los flujos de efectivo como fijos no son válidos. Desarrollan un modelo en el que se observa cómo con moderados niveles de incertidumbre el VAN puede conducir a mayores inversiones.

Lenos Trigeorgis es uno de los autores más prolíficos en el campo de las opciones reales, además de ser de los pioneros. Por citar algunos de sus trabajos, en Trigeorgis (1993b) y Trigeorgis (1993a) explica que las opciones reales son herramientas que permiten superar los problemas de los métodos tradicionales y que incrementan el valor de una inversión con la opción de abandonar, estudiando sus efectos con financiación externa.

Graham y Harvey (2001) realizan una encuesta entre directores financieros de empresas de muy diferentes ámbitos, tamaños, etc. Aunque sus resultados se analizan en la sección 2.2, es conveniente adelantar algunos de ellos. Por ejemplo, cada vez se utilizan más los métodos del VAN y de la TIR, lo cual es tranquilizador frente a lo que se hacía a mediados del siglo XX, pero demuestran que la tasa de descuento utilizada no suele ser la correcta, por ejemplo, una empresa utiliza en ocasiones la misma para sus inversiones en diferentes países. Encuentran que en estos momentos se utiliza la TIR por el 75,61 % de los gerentes, mientras que el VAN por el 74,93 %. Otros métodos también son muy utilizados, como el periodo de recuperación, utilizado por el 56,74 %, o la tasa mínima de retorno, por el 56,94 %. Por el contrario, las opciones reales solo son usadas por el 26,59 %.

Una vez analizada la importancia del uso de opciones reales, es importante saber cómo calcularlas. Los métodos son muy variados, adaptándose algunos mejor a tipos concretos de opciones. Por ejemplo Berger *et al.* (1996) valoran el valor de una opción de abandono con un modelo en el que obtienen el valor de las opciones a partir de la valoración de los activos utilizados y el flujo de caja que dan a la empresa.

Broadie y Glasserman (1997) y Boyle *et al.* (1997) realizan una simulación de Monte Carlo para valorar opciones americanas pero que es fácilmente ampliable a la valoración



## 1. INTRODUCCIÓN

de opciones reales complejas.

[Schwartz y Moon \(2000\)](#) y [Schwartz y Moon \(2001\)](#) valoran el precio de compañías de Internet por medio de opciones reales aplicando el método de Monte Carlo. En sus conclusiones, insisten como otros autores en que los resultados son muy dependientes de los valores que se aportan como datos, por lo que se debe hacer un estudio previo muy detallado.

[Longstaff y Schwartz \(2001\)](#) desarrollan un método en el que calculan los precios de las opciones financieras de forma numérica. Para ello, utilizan el método de Monte Carlo combinado con el método de regresión de mínimos cuadrados, creando un algoritmo que comprueban numéricamente. El uso de este método permite ampliar el número de fuentes de incertidumbre que afectan a una opción.

[León y Piñeiro \(2004\)](#) desarrollan un modelo en el que valoran una empresa farmacéutica que modifica el modelo planteado por [Schwartz \(2004\)](#) en el que valoraba patentes también de empresas farmacéuticas. Introducen la incertidumbre en los costes de los proyectos, en los flujos de efectivo y la posibilidad de eventos catastróficos. Valoran la posibilidad de abandonar en el caso de que una gran parte del valor del proyecto sea pequeña o la incertidumbre sea grande.

[Andrés et al. \(2006\)](#) realizan un estudio en el que tratan de encontrar por qué la valoración de una empresa medida por el valor de sus acciones es diferente de la que se obtiene por el valor de sus activos, lo cual, concluyen, se debe a las opciones reales. Obtienen que el valor de dichas opciones está relacionado directamente con la investigación, el desarrollo, el tamaño, la beta, etc. y negativamente con el apalancamiento financiero.

[Alonso \(2009\)](#) valora opciones reales con múltiples fuentes de incertidumbre combinando la simulación de Monte Carlo con programación dinámica y regresión estadística en un modelo en el que las opciones son cuasi-americanas apoyándose también en el modelo de [Longstaff y Schwartz \(2001\)](#). Encuentra que la aplicación de una segunda fuente de incertidumbre modifica significativamente los resultados.

[Alonso et al. \(2009\)](#) analizan las opciones reales en el sector eléctrico basándose en un caso práctico como fue la expansión de Endesa en Latinoamérica en donde se observó que la inversión de Endesa en Enersis se hizo con VAN negativo, pero se encuentra la racionalidad de la inversión en la valoración de la opción de expansión en Brasil. También encontraron que no solo los responsables de la empresa, sino también los inversores valoran opciones reales, ya que la cotización de las acciones de Endesa así lo revela.

[Ferreira et al. \(2009\)](#) aplican la Teoría de Juegos a las opciones reales, mediante el estudio de un mercado con oligopolio. En la misma línea, [Leporati \(2013\)](#) aplica la Teoría de Juegos para el análisis de la implantación de tiendas de conveniencia. Encuentran que la ventaja de este método es que se puede añadir a las posibilidades ya comentadas de las opciones reales, las derivadas de incluir los movimientos de la competencia.

[Balibrea \(2013\)](#) analiza proyectos de generación eléctrica con energías renovables estudiando las opciones reales regulatorias. Analiza los cambios en los resultados para un proyecto en el caso de cambios en la normativa o en las subvenciones que se dan a un sector.

En el campo de las infraestructuras también se ha investigado con opciones reales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Leviankangas y Lahesmaa (2002) las aplican junto con otros métodos para el estudio económico de sistemas inteligentes de transporte, como pueden ser autopistas de peaje. Ford *et al.* (2002) encuentran que en el diseño de infraestructuras se minusvaloran los proyectos debido a que en presencia de incertidumbre no se valora la gestión de las opciones reales que se presentan. Muestran un ejemplo con una autopista de peaje.

Ho y Liu (2003) aplican las opciones reales a inversiones en tecnología de los campos de la arquitectura, ingeniería y la construcción. Tienen en cuenta los riesgos, así como las posibilidades de toma de decisiones por parte de la gerencia. Encuentran que el modelo ofrece una buena alternativa al método VAN cuando la incertidumbre es alta, y en particular es adecuado para la inversión en tecnología emergente, donde el tiempo, la madurez de la tecnología, y la planificación estratégica juegan papeles críticos en la decisión de la viabilidad financiera de una inversión.

Zhao y Tseng (2003) analizan la ampliación de un aparcamiento antes de ser construido con la posibilidad de sobredimensionar la cimentación. Más adelante Zhao *et al.* (2004) aplican también las opciones reales al diseño de autopistas aplicando el método de Monte Carlo.

Wang y de Neufville (2004) realizan un modelo de opciones reales para una central hidroeléctrica en China. Utilizan la rejilla trinomial y la programación dinámica estocástica como método de cálculo.

Ashuri *et al.* (2011) las aplican también para el estudio de autopistas de peaje, encontrando que se pueden disminuir los riesgos tanto para los inversores como las administraciones, y también que pueden aumentarse los beneficios.

Entre los trabajos pioneros en opciones reales aplicadas al mundo inmobiliario se encuentra el de Titman (1985). Observa que en muchas ocasiones los promotores deciden esperar para construir un desarrollo urbanístico. Crea un modelo para calcular el precio de solares en el tiempo actual, basándose en los métodos binomial y de Black - Scholes. Tiene en cuenta que esperando, en el futuro podría incluso cambiar el tipo de edificio a construir. Entre las conclusiones se puede destacar que, ya que un aumento de la incertidumbre aumenta el valor de los terrenos, también provocaría una disminución en la actividad constructora en el periodo actual. Esta conclusión le conduce a otra paradójica, si un banco central inicia políticas monetarias para aumentar la construcción, la disminución de la incertidumbre puede hacer que disminuya la actividad, al disminuir el valor de las opciones reales.

Williams (1991) confirma las investigaciones de Titman. Se centra sobre todo en las opciones de abandonar, que compara con opciones *put* americanas. Observa también que el valor de la opción aumenta con la incertidumbre.

Quigg (1993) hace un estudio tomando valores de mercado y centrándose sobre todo en la opción de esperar. Encuentra valores muy interesantes para la investigación como que el valor de las opciones de esperar puede ser del 6 % del valor del terreno.

Capozza y Li (1994) construyen un modelo en el que encuentran que el valor de un proyecto inmobiliario y su momento óptimo de inversión dependen del capital de la inversión. De su trabajo se desprende que, si se puede variar el capital, se puede influir en el valor del proyecto. También encuentran que la existencia de tasas administrativas previas al desarrollo acelera el tiempo de ejecución y disminuye el valor de los proyectos,

## 1. INTRODUCCIÓN

pero también reduce la densidad de los desarrollos.

*Grenadier (1995)* aplica las opciones reales a los espacios en un centro comercial y crea un modelo que permite comparar el diferente destino de los alquileres, como oficinas, comercial, industrial, el tipo de negocio, la calidad del negocio, etc. Encuentra que la diferencia de valor entre estrategias dinámicas y estáticas viene por las opciones reales.

*Grenadier (1996)* introduce la Teoría de Juegos para explicar el comportamiento del mercado inmobiliario. El modelo aísla los factores que hacen que algunos mercados se desarrollen de forma explosiva. El modelo también ofrece una explicación de por qué algunos mercados pueden experimentar auge de construcción mientras que disminuye la demanda. Si bien este tipo de comportamiento es a menudo considerado como irracional, el modelo proporciona una base racional para tales patrones de comportamiento.

*González (2003a)* construye un modelo con dos fuentes de incertidumbre, el precio de la vivienda y los cambios en los tipos de interés, que son variables, y mantiene la volatilidad como constante en el tiempo. Encuentra que el valor del proyecto aumenta con el de la vivienda y disminuye con el tipo de interés, y cambia cuando se alteran estos valores, afectando a las decisiones de inversión.

*Neufville et al. (2006)* aplican el cálculo de las opciones reales para un edificio de aparcamiento utilizando una hoja de cálculo, concluyendo que de esta forma el método de las opciones reales será más utilizado por gerentes que no poseen amplios conocimientos matemáticos.

*Rocha et al. (2007)* aplican las opciones reales a un proyecto inmobiliario. Encuentran que la aplicación de esta metodología aumenta el valor del proyecto un 10 % y disminuye los riesgos a la mitad.

*Calle y Tamayo (2009)* aplican las opciones reales a un proyecto inmobiliario en Colombia encontrando que los resultados son muy dependientes de los datos de partida, por lo que no se deben sacar conclusiones sin estudiar su influencia en los resultados finales.

### 1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS

Dentro de los objetivos de esta Tesis doctoral, se puede hacer una división entre objetivos generales y otros más específicos.

#### 1.3.1. Objetivos generales

El principal objetivo es aplicar la teoría de opciones reales a un proyecto de inversión inmobiliaria, mejorando el análisis que hacen los métodos tradicionales, los cuales presentan algunos problemas y limitaciones. Las opciones reales añaden valor al proyecto porque son capaces de valorar la capacidad de los gestores para tomar decisiones durante el desarrollo de este. El objetivo consiste en demostrar la utilidad de las opciones reales para el análisis de proyectos inmobiliarios y cuantificar el valor que aportan.

La teoría de las opciones reales sin ser especialmente compleja, sí que entraña cierta dificultad en cuanto a su análisis matemático, sobre todo en comparación con otros

## 1. INTRODUCCIÓN

métodos tradicionales, lo cual puede hacer recelar a gerentes no acostumbrados a este tipo de análisis. Por ello otro importante objetivo que se quiere conseguir con la Tesis es aportar programas para el cálculo de las opciones reales adaptados a proyectos inmobiliarios que faciliten la comprensión de la teoría y el cálculo posterior.

De esta manera, se pretende que los inversores o los empresarios que acometen un proyecto inmobiliario obtengan mayor rendimiento para sus inversiones colaborando en la creación de riqueza, no solo para ellos mismos, sino también para la sociedad en general.

Para la adaptación de las opciones reales a los proyectos inmobiliarios es necesario conocer a fondo las particularidades que los caracterizan. Se ha marcado como objetivo general exponer los riesgos a los que se enfrenta un proyecto inmobiliario desde su comienzo hasta su finalización, los factores que influyen en su cuenta de resultados así como en su diseño, de manera que se contribuya a facilitar las decisiones que tendrá que tomar un gerente de una empresa inmobiliaria.

Asimismo, se ha planteado también como objetivo general investigar los avances realizados en la literatura sobre las opciones reales en otros campos, con el fin de aplicarlos al sector inmobiliario.

### 1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos han sido los siguientes:

- Valorar un proyecto inmobiliario con los métodos tradicionales y con el método de opciones reales para comparar las diferencias entre ellos.
- Analizar las peculiaridades de los proyectos inmobiliarios frente a otros sectores, que hacen necesario modificar los planteamientos utilizados en ellos. Es decir, no se debería estudiar de la misma forma un proyecto petrolífero que uno urbanístico.
- Crear programas de cálculo con R ([R Core Team, 2016](#)) y Excel que permitan la valoración de forma sencilla de un proyecto con opciones reales.
- Calcular las opciones reales por diferentes métodos, para comprobar las ventajas o precisión de cada uno de ellos.
- Analizar un caso específico que permita poner en práctica los programas de cálculo desarrollados en la Tesis.

### 1.4. METODOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

Para la elaboración de esta Tesis en primer lugar se ha buscado y clasificado una extensa bibliografía sobre opciones reales, a la vez que también sobre los métodos tradicionales de valoración de proyectos. Para ello se han hecho búsquedas en Internet y en la biblioteca electrónica de la UNED la cual da acceso además de a sus fondos propios, a la mayoría de las revistas científicas internacionales.

Una vez estudiado a fondo el tema, se ha elegido un caso para su análisis, el cual ha sido valorado con los métodos tradicionales como el Valor Actualizado Neto y la Tasa Interna de Retorno, y se han calculado varios tipos de opciones reales adaptadas a las particularidades de ese proyecto.

Las opciones reales se han calculado por tres métodos: ecuaciones en derivadas parciales como la fórmula de Black - Scholes, el método binomial y el método de Monte Carlo. Se han comparado los tres métodos para ver las principales diferencias entre ellos, así como sus ventajas e inconvenientes. Entre dichos métodos, se han elegido los árboles binomiales debido a su facilidad de uso cuando se aplican a cualquier tipo de opción real. Asimismo, se han desarrollado varios scripts en el lenguaje de programación R, incorporados como anexo a la Tesis para que puedan ser utilizados por otros investigadores.

Dentro de la metodología seguida para el cálculo de las opciones reales, resulta de vital importancia la selección del valor para ciertos parámetros, siendo el cálculo de la volatilidad el más complejo, para lo cual se han utilizado diferentes métodos extraídos de la bibliografía.

Esta Tesis se ha estructurado por capítulos. En el capítulo 1 de Introducción en primer lugar se justifica la relevancia de la Tesis, la cual se fundamenta en la importancia del sector inmobiliario en España. También se comenta la terrible crisis que sigue padeciendo el país desde el año 2008 y sus efectos, y también los métodos de valoración de proyectos, indicando someramente las ventajas de utilización de las opciones reales frente a métodos tradicionales.

Es en el capítulo 2 de Valoración de Proyectos Inmobiliarios donde estos métodos tradicionales son explicados junto a sus ventajas e inconvenientes. Tras el análisis se concluye que es necesaria una alternativa que elimine o palíe al menos estos inconvenientes.

Por lo tanto, en el capítulo 3 sobre las opciones reales, se presenta este método de valoración de proyectos como alternativa. En primer lugar se explican las diferentes opciones reales que existen, como por ejemplo, expansión, diferir o abandonar, y posteriormente se explican los métodos de valoración, como la fórmula de Black - Scholes, el método binomial y el método de Monte Carlo, entre otros.

Para poder aplicar el método con éxito, es necesario conocer bien las características de los proyectos inmobiliarios. Para ello en el capítulo 4 se hace un profundo análisis de dichos proyectos. Se estudian los distintos costes e ingresos que tiene un proyecto, ya que son necesarios para la valoración y un error en su estimación puede conducir a resultados erróneos. También se estudian los riesgos que presenta un proyecto de estas características, que son completamente diferentes a los de otros sectores sobre los que tradicionalmente se han aplicado las opciones reales. Ya con toda esta información

## 1. INTRODUCCIÓN

asimilada, se procede a la adaptación de las opciones reales más comunes a un proyecto inmobiliario.

En el capítulo 5 se explica el modelo utilizado en la Tesis, y se calculan los parámetros que son necesarios en el modelo. Seguidamente se han escrito varios programas o scripts con el programa R (R Core Team, 2016) y en algunos casos con Excel como contraste, que permiten hacer previsiones con el modelo elegido, y calcular el precio de opciones con la fórmula de Black - Scholes, por Monte Carlo y con árboles binomiales, así como para opciones reales de varios tipos, haciendo las comprobaciones necesarias para su validación.

En el capítulo 6 se aplican los programas a un proyecto inmobiliario. En primer lugar se plantea el caso, con un análisis urbanístico y arquitectónico, y el cálculo de su cuenta de explotación, etc., es decir, siguiendo lo explicado en el capítulo 4. En segundo lugar se calcula la volatilidad del proyecto, uno de los puntos más importantes previos al cálculo de las opciones reales. Posteriormente se buscan las opciones reales que presenta el proyecto para poder aprovecharlas. Una vez identificadas se procede a su cálculo y valoración, y se calcula el VAN ampliado obtenido en diferentes escenarios.

En el capítulo 7 se exponen las conclusiones que se han obtenido con la investigación desarrollada en la Tesis.

En el capítulo 8 se proponen nuevas líneas de investigación que han surgido tras las conclusiones alcanzadas y cuyo desarrollo se entiende más recomendable incluirlo en futuros trabajos.

Para terminar la Tesis, se aportan en apéndices explicaciones que se ha considerado más útil no incluir en el texto principal para no perder el hilo de la exposición, pero que se considera que son de interés para el lector de este documento, así como los scripts para el cálculo en R de las opciones reales.

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

Lo sentimos. No somos nosotros, es el monstruo. El banco no es como un hombre. Sí, pero el banco no está hecho más que de hombres. No, estás equivocado, estás muy equivocado. El banco es algo más que hombres. Fíjate que todos los hombres del banco detestan lo que el banco hace, pero aun así el banco lo hace. El banco es algo más que hombres, créeme. Es el monstruo. Los hombres lo crearon, pero no lo pueden controlar. Los arrendatarios gritaron: El abuelo mató indios, Padre mató serpientes, por la tierra. Quizá nosotros podamos matar blancos, que son peores que los indios y las serpientes. Quizá tengamos que matar para conservar la tierra, igual que hicieron Padre y el abuelo.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

La gran mayoría de las empresas tienen como principal objetivo obtener beneficios con su actividad. Si este objetivo no se cumple, la empresa desaparecerá. Incluso aquellas empresas que tienen otros objetivos, como puede ser fines sociales o de ayuda a personas sin recursos, también tienen como objetivo que sus inversiones sean lo más rentables posibles.

La valoración de la rentabilidad de inversiones es por tanto fundamental en el devenir de una empresa. Desde la incorporación de una nueva máquina a la línea de producción o la construcción de un laboratorio de I+D, hasta la compra de un nuevo solar para la construcción de un bloque de viviendas, todas las decisiones que deba tomar el gerente de una empresa deberán estar apoyadas por el estudio de la rentabilidad que la inversión analizada aportará a la empresa.

El estudio de nuevas inversiones es continuo, ya que siempre será necesario incorporar nuevos elementos a la producción, ya sea por desgaste o por cambio de modas o de gustos del consumidor. Por ejemplo, en una bodega de vino pese a que el producto será siempre el mismo, habrá que incorporar nuevas máquinas por desgaste o por mejorar el rendimiento, mientras que, en un fabricante de calzado, los cambios en las modas hacen que se tenga que cambiar de producto de forma continua.

Pero todavía es más importante en el mercado inmobiliario, ya que la compra de un terreno para edificar, solo permite "fabricar" el producto una vez y tras una promoción será necesario buscar un nuevo terreno para volver a edificar.

En España, durante la primera década del siglo XXI se vivió una situación excepcional. Y no es excepcional porque no se repita en otros lugares del mundo, o porque no se vaya a repetir en España, ya que burbujas inmobiliarias, las ha habido, las hay y las habrá,



## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

sino porque durante aquellos años cualquier inversión acababa siendo un éxito, gracias a la subida de precios constante que había en el producto terminado. No es el objetivo de esta Tesis el análisis de la burbuja inmobiliaria española, pero situaciones grotescas como cuentas de resultados hechas con lápiz y papel, conducían a la compra de terrenos que acababan con grandes beneficios si la operación se ejecutó en los primeros años de la burbuja.

Una vez normalizado el mercado, cada operación debe ser analizada con sumo cuidado, incorporando las mejores técnicas de las que se disponga. En este capítulo se hace un repaso en primer lugar por los métodos tradicionales, para acabar presentando las opciones reales como alternativa que mejora el análisis y que en tiempos difíciles como los que está atravesando el sector, se vuelven totalmente obligadas.

### 2.1. MÉTODOS TRADICIONALES

En este apartado se van a analizar los métodos tradicionales para la evaluación de proyectos. [Kodukula y Papudesu \(2006\)](#) indican que el objetivo de la valoración de proyectos, además de conocer su propia rentabilidad, también es la comparación con otros proyectos que compiten por los recursos con los que cuenta la empresa. Es esta probablemente la parte más importante del proceso de selección del proyecto porque asigna un valor monetario a los proyectos. A grandes rasgos la valoración de un proyecto consiste en calcular los ingresos y los costes que tendrá durante su ciclo de vida y si los primeros son superiores a los segundos, se considera digno de inversión. Por ello, la mayor parte de los métodos se basan en el cálculo de los flujos de caja actualizados con la tasa de descuento apropiada y algunos incorporan la posibilidad de tomas de decisiones por los gerentes como árboles de decisión.

Los flujos de caja comprenden tanto los ingresos como los gastos del proyecto. Dependiendo del tipo de proyecto pueden ser de diferentes tipos, pero en todo caso se deben incluir los de toda la vida del proyecto, es decir, no solo los de operación, sino también los de implantación, y posibles gastos tras la finalización. Pero la clave está en la tasa de descuento que se utilice y que puede cambiar totalmente la decisión sobre un proyecto, por lo que debe ser elegida con sumo cuidado ([Kodukula y Papudesu, 2006](#)). En la ecuación 2.1 se observa la fórmula para el cálculo de los flujos de caja netos ([Mascareñas, 2008](#)):

$$FC_j = C_j - P_j \quad (2.1)$$

donde:

$FC_j$ : son los flujos de caja esperados en el periodo  $j$

$C_j$ : son los cobros esperados en el periodo  $j$

$P_j$ : son los pagos esperados en el periodo  $j$

[Mascareñas \(2008\)](#) indica que al someter varios proyectos de inversión a diferentes criterios de valoración, para saber cuáles elegir entre ellos o cuáles aceptar, a veces no coinciden los resultados, y esto se debe a que los criterios de valoración deberían cumplir



## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

cuatro características y solo el criterio del VAN las cumple. Las cuatro características son:

1. Debe contemplar todos los flujos de caja.
2. Debe descontar los flujos de caja al coste de oportunidad del capital establecido por el mercado.
3. Debe escoger el proyecto que mayor valor aporte a la empresa.
4. Debe considerar los proyectos como independientes de los demás, de manera que no se estudia la combinación de proyectos si no los proyectos por separado.

### 2.1.1. Valor Actual Neto

Al valorar un proyecto de inversión, se debe hacer una previsión de los flujos de caja y calcular su valor actual, para compararlo con el desembolso inicial que implica la realización del proyecto (Mascareñas, 2007; Retana, 2007). El Valor Actual Neto se calcula con la ecuación 2.2

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad (2.2)$$

donde:

A: es el desembolso inicial del proyecto

FC<sub>j</sub>: son los flujos de caja esperados en el periodo j

n: es el horizonte temporal del proyecto

k: es la tasa de descuento o coste de oportunidad del capital apropiada al riesgo del proyecto

Este criterio considera aceptable un proyecto de inversión cuando el VAN es positivo, es decir, cuando al descontar los flujos de caja a la tasa correspondiente al riesgo concreto de ese proyecto, el valor obtenido es superior al coste de realizarlo. Por lo tanto, una empresa que utilice este método para evaluar sus inversiones debería ir asignando capital a los proyectos que posean un VAN mayor hasta agotarlo (Balibrea, 2013).

Para que el VAN de un proyecto sea positivo, su tasa de rendimiento tiene que ser mayor que su tasa de descuento, lo que implica que los flujos de caja que genera son superiores a su costo de capital, por lo que se podrán pagar las deudas en las que se incurrió para financiar el proyecto. El dinero sobrante se destina a los accionistas que verán como su patrimonio crece en la misma cantidad que el VAN del proyecto en el que han invertido (Retana, 2007).

Mascareñas (2008) concluye que, el significado del resultado del VAN es que si se lleva a cabo el proyecto, obtendrá un rendimiento anual medio superior al que proporcionaría una cartera del mercado financiero con el mismo riesgo. Es decir, como el proyecto aporta valor, lo que calcula el VAN es el valor que un inversor estaría dispuesto a pagar por el proyecto, ya que le aporta más valor que su inversión en los mercados financieros. También compara al directivo de una empresa con un arbitrajista, ya que

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

estaría adquiriendo flujos de caja en el mercado de activos reales y los vendería en el mercado financiero. Esto es posible por la existencia de barreras de entrada, patentes, etc.

En cuanto a la tasa de descuento, [Mascareñas \(2008\)](#) expone un ejemplo que clarifica cual es la tasa de descuento que debe utilizarse. Compara un caso en el que el inversor decide comprar una vivienda para la que el tipo de interés de la hipoteca es del 6 %, mientras que la rentabilidad por alquileres en viviendas de la zona es del 10 %. Concluye que es esta tasa del 10 % la que debe ser utilizada ya que sería el coste de oportunidad por invertir en la vivienda que se va a comprar.

Este coste de oportunidad tiene que ser ajustado con el riesgo de proyecto. En el caso de no existir riesgo, el coste de oportunidad coincide con los tipos de interés de los bonos del Estado, que contempla el tipo de interés real más la inflación esperada. Siguiendo con el ejemplo, en el caso de que no existiera riesgo en la inversión en la vivienda, el tipo de interés a utilizar sería el de un bono con los mismos años hasta expiración que los que contempla el cálculo de la inversión.

Otro método de estimar la tasa de descuento es el ofrecido por [Hernández \(2002\)](#) que la equipara a la TREMA o Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptada por el inversor y cuyo valor lo obtiene a partir de la inflación de la economía, la tasa de interés libre de riesgo en el mercado del dinero y una prima sobre el coste ponderado de capital de las diferentes alternativas de financiamiento para el proyecto.

[Hinojosa \(2008\)](#) en su Tesis doctoral considera correcto el aumento de la tasa de descuento con una prima de riesgo, de tal manera que se castiga al proyecto más arriesgado porque se reduce su rentabilidad a través del descuento. También indica que es posible descontar los flujos de caja con la tasa libre de riesgo asumiendo que la empresa podrá comprar un seguro para obtener una rentabilidad acorde con el equivalente cierto.

Entre las ventajas del VAN se pueden destacar:

1. Utiliza la actualización de los flujos de caja, de tal manera que da mayor valor a los flujos obtenidos cerca del momento actual que a los más lejanos ([Retana, 2007](#); [Balibrea, 2013](#)).
2. Vincula las decisiones de aceptación o rechazo del proyecto con la maximización del valor de la empresa, o dicho de otro modo, del patrimonio de sus accionistas ([Retana, 2007](#)).
3. Es muy sencillo de utilizar ([Romero et al., 2005](#); [Balibrea, 2013](#)) y de fácil implementación en hoja de cálculo por lo que puede ser utilizado por la mayoría de los gestores, y lo que es más importante, entendido por otras personas que no han hecho la valoración pero que deben estudiarla.
4. El VAN tiene la propiedad aditiva, por lo que si se consideran dos proyectos el VAN resultante será la suma de los dos, con su signo correspondiente, en el caso de que alguno sea negativo. Esto es importante en el caso de que alguno de los proyectos esté vinculado al otro y no pueda ser excluido aunque tenga un VAN negativo ([Gracia, 2014](#)).

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

El VAN es el único criterio que cumple con las cuatro características que debe cumplir un criterio de valoración recogidas en el punto anterior, pero pese a ello presenta limitaciones (Mascareñas, 2008) que se recogen a continuación.

1. No puede valorar los proyectos que son flexibles durante su desarrollo, es decir, asume que cuando comienzan está predeterminado todo lo que ocurrirá posteriormente. No permite valorar la flexibilidad operativa que los gerentes tienen en función de las condiciones del mercado, aunque una manera de suplir este problema podría ser la utilización de árboles de decisión (Palacios *et al.*, 2003; Mascareñas, 2007).
2. Además, prever los flujos de caja en determinados sectores es muy complejo por la propia dinámica del sector, por lo que de todas las posibilidades el analista se ve obligado a elegir una que a su juicio considera la más probable, pero que casi con total seguridad cambiará, no siendo por lo tanto correcto el cálculo del VAN (Palacios *et al.*, 2003; Mascareñas, 2007).
3. Supone que conoce la tasa de descuento y es constante durante toda la vida del proyecto. Esta suposición es falsa en la mayoría de las ocasiones y en todo caso, cuando el proyecto tiene larga duración, ya que el riesgo del proyecto va a variar dependiendo del tiempo que le quede al proyecto hasta su finalización (Romero *et al.*, 2005; Mascareñas, 2007).
4. Si la empresa que realiza la valoración, debido a su percepción particular del riesgo, incorpora un factor a la tasa de descuento superior al que realmente tiene el proyecto, hace que el resultado sea subjetivo e incluso que deseché el proyecto siendo rentable. (Domínguez, 2009)
5. Asume que los flujos de caja que genera serán reinvertidos a lo largo de su vida a una tasa idéntica a la del coste de oportunidad, sin poder ser consumidos, pero si no se hace así, en el caso de que se reinvirtiera a tasas superiores, el VAN sería mayor que el calculado y menor en el caso contrario (Mascareñas, 2008; Domínguez, 2009).
6. Como se ha explicado anteriormente, supone que los proyectos son aditivos. Esta circunstancia que es una ventaja en muchos casos, puede no serlo en otros. Por ejemplo, al fusionar dos empresas pueden ocurrir efectos sinérgicos entre algunos proyectos, que aporten más valor al funcionar las dos empresas como una sola, y que el VAN no recoge. (Mascareñas, 2007)
7. No es recomendable su uso en proyectos públicos de servicios sociales, aunque puede ser utilizado aplicando modificaciones o teniendo en cuenta consideraciones que no se detallan en esta Tesis al alejarse de sus objetivos. (Hinojosa, 2008)
8. El VAN aporta un valor absoluto, por lo que en teoría dos proyectos con el mismo VAN deberían ser igualmente aceptados, aunque la inversión inicial sea muy

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

diferente y por lo tanto el riesgo asumido. Esta circunstancia puede ser fácilmente neutralizada calculándolo en valor relativo. (Domínguez, 2009)

La ecuación 2.2 se puede simplificar en determinados casos, que facilitan todavía más su cálculo, ya de por sí sencillo. Así, en el caso de que los flujos sean constantes en el tiempo e infinitos (Dapena, 2004):

$$VAN = -A + FC \cdot \sum_{j=1}^{j=\infty} \frac{1}{(1+k)^j} = -A + \frac{FC}{k} \quad (2.3)$$

donde el significado de los parámetros es el mismo que en la ecuación 2.2. En el caso de que los flujos de caja crezcan a la tasa constante  $g$  las ecuaciones 2.2 y 2.3 se convierten en:

$$VAN = -A + FC \cdot \sum_{j=1}^{j=\infty} \frac{(1+g)^j}{(1+k)^j} = -A + \frac{FC}{k-g} \quad (2.4)$$

También se pueden obtener expresiones más sencillas para el caso de que no sean infinitas las etapas, pero se remite a cualquier libro de matemáticas financieras para su consulta.

### 2.1.2. Tasa Interna de Retorno

En un proyecto de inversión se define la tasa interna de retorno como la tasa de descuento para la que el VAN es igual a cero. Es una medida de la rentabilidad relativa que ofrece la inversión. En la ecuación 2.5 se ofrece su expresión, en la que hay que despejar  $k$  y donde el significado de las variables es el mismo que en la ecuación 2.2 (Mascareñas, 2008; Balibrea, 2013):

$$0 = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad (2.5)$$

Actualmente su cálculo es muy sencillo utilizando una hoja de cálculo o con una calculadora financiera. A mediados del siglo pasado no era tan sencillo y debía hacerse con métodos aproximados o gráficamente. Así, si se representa en un gráfico los valores obtenidos del VAN de una determinada inversión para los diferentes valores de la tasa de descuento, el valor de la TIR vendría determinado por el corte con la línea de abscisas, obteniéndose valores negativos del VAN cuando la tasa de descuento es mayor que la TIR y positivos cuando es menor. Es decir, el criterio de la TIR establece que una inversión se puede efectuar cuando la TIR es superior al coste de oportunidad del capital, que es la tasa de descuento con la que se calcula el VAN. En el caso de tener que escoger entre varios proyectos, es preferible el que tenga la mayor TIR (Mascareñas, 2008; Balibrea, 2013).

Dependiendo del signo de los flujos de caja, se pueden encontrar una, varias o ninguna TIR. Por ejemplo, en un proyecto en el que todos los flujos de caja sean positivos o

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

negativos, no se obtendrá ningún valor para la TIR. Como norma general, un proyecto en el que los flujos de caja negativos se den al principio y los positivos al final, siendo además la suma absoluta de los flujos de caja positiva, el proyecto contará con un solo valor de la TIR. Pero, en aquellos proyectos en los que también haya flujos de caja negativos al final pueden aparecer múltiples valores para la TIR. (Retana, 2007)

Al igual que en el caso del VAN, Mascareñas (2008) indica que los flujos de caja deben ser reinvertidos a la propia tasa de rendimiento interna para que su cálculo sea correcto. La demostración que hace de esta característica es sencilla y elegante como se ve en la ecuación 2.6 en la que se han capitalizado los flujos obtenidos en el periodo  $j$  hasta el periodo  $n$  para posteriormente descontarlos hasta el periodo actual. Como se puede comprobar, solo en el caso de que coincidan la tasa de descuento y la de reinversión, el VAN será 0, y por lo tanto el cálculo de la TIR será correcto:

$$0 = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j (1 + r')^{n-j}}{(1 + k)^n} \quad (2.6)$$

El mismo autor hace un ejemplo de su cálculo con una inversión en un bono del gobierno en el que siempre la TIR coincide con su cupón anual. Pero si los tipos de interés cambian en el segundo año y tercer año, disminuyendo y se aplica la ecuación 2.6 se observa como la TIR disminuye. Esto supone una contradicción porque en realidad se está actuando correctamente al reinvertir los flujos al coste de oportunidad del capital del proyecto. La realidad es que la TIR suele dar un valor superior al que realmente se va a obtener con el proyecto.

En el cálculo de la TIR este problema es todavía mayor que en el VAN. Si una empresa actúa con racionalidad económica invertirá hasta que el beneficio marginal sea cero, es decir, hasta que el último proyecto de inversión de los que tiene en cartera dé un valor del VAN igual a cero. En ese caso su tasa de rentabilidad coincidiría con la de descuento. En ese momento es muy complicado que la empresa sea capaz de reinvertir los flujos a la tasa de descuento, porque si pudiera hacerlo, ya lo habría hecho anteriormente por lo que el método de la TIR se considera inferior al del VAN. (Retana, 2007)

Si se comparan el VAN con la TIR se observa que los dos, en general, coinciden en aprobar una inversión. Pero esto no es así cuando se trata de ordenarlos en función de su rendimiento para el inversor. Dependiendo de la distribución de los flujos de caja, puede ocurrir que el orden de elección entre dos proyectos según el VAN o la TIR sean diferentes, como demuestra Mascareñas (2008) en un ejemplo. Esto se debe a las diferentes tasas de descuento y reinversión utilizadas.

Entre las ventajas de la TIR se pueden citar:

1. Al obtenerse un porcentaje, es de fácil comprensión en la práctica empresarial (Balibrea, 2013).
2. Utiliza la actualización de los flujos de caja, de tal manera que da mayor valor a los flujos obtenidos cerca del momento actual que a los más lejanos (Retana, 2007).
3. Una ventaja aparente es que no es necesario a priori elegir el tipo de interés del

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

proyecto, pero realmente al final debe hacerse para poder aplicar el criterio de elección de la TIR (Hernández, 2002; Retana, 2007).

4. Es un indicador de la tasa máxima a la que se deberían obtener los créditos para la ejecución del proyecto. Si se financia a una tasa igual a la TIR la empresa con los fondos obtenidos solo podrá pagar el capital y los intereses de la deuda, mientras que si la TIR es superior a la tasa de financiamiento será rentable y viceversa (Hernández, 2002; Domínguez, 2009).
5. En el caso de proyectos independientes y flujos de caja convencionales aporta decisiones idénticas a las del VAN (Retana, 2007).

Entre las desventajas de la TIR se encuentran:

1. No cumple con el principio de aditividad del valor que permite comparar proyectos independientes entre sí, por lo que, si los gerentes de una empresa utilizan la TIR para valorar varios proyectos que no son excluyentes entre sí, deben valorar todas las posibles combinaciones con objeto de encontrar la que proporcione mayor rendimiento interno (Mascareñas, 2008).
2. En proyectos excluyentes pero de diferente magnitud también puede dar resultados erróneos al seleccionar el proyecto más adecuado (Domínguez, 2009).
3. Es muy difícil cumplir el requisito de la reinversión de los flujos a la misma tasa obtenida por la TIR, por lo que al no cumplir con este requisito las conclusiones obtenidas pueden no ser correctas (Mascareñas, 2008; Domínguez, 2009).
4. La inconsistencia de la TIR para determinados proyectos. Como se ha comentado, en determinadas ocasiones, en función de los flujos de caja de la inversión podría ocurrir que la curva del VAN cortara dos veces al eje de abscisas por lo que se obtendrían dos valores de la TIR, o incluso ningún valor si no la corta. Esta situación en la práctica es muy rara de encontrar, aunque podría darse en el caso de impuestos pagados el año posterior a la finalización del último flujo de caja positivo (Mascareñas, 2008; Domínguez, 2009).

Como resumen se puede decir, que comparando el VAN con la TIR se observa que ambos criterios no son equivalentes en general porque miden diferentes aspectos de la rentabilidad de una inversión. Son dos métodos complementarios, por ejemplo el VAN aporta la rentabilidad en valor absoluto, mientras que la TIR en valor relativo. En inversiones simples, con todos los flujos de caja positivos, los dos criterios son equivalentes en las decisiones de aceptación o rechazo y solo existe un valor de la TIR (Balibrea, 2013).

### 2.1.3. Tasa Interna de Rendimiento Modificada

Tras el análisis de la Tasa Interna de Rendimiento puede aparecer la pregunta de cómo es posible que presentando tantos problemas se siga utilizando. La respuesta se

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

puede encontrar en las ventajas que tiene y la verdad es que hay gerentes que prefieren utilizarla. Por ello se desarrolló una modificación de la TIR que permite eliminar algunos de sus problemas en algunos casos, como la inconsistencia de la TIR.

Para su cálculo se utiliza la ecuación 2.7 (Vera, 2013):

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_{negativo}}{(1+k)^t} = \frac{\sum_{t=0}^n FC_{positivo} \cdot (1+k)^{n-t}}{(1+TIRM)^n} \quad (2.7)$$

En el lado izquierdo de la ecuación se colocan los flujos de caja negativos actualizados al coste de oportunidad de la empresa. El lado derecho es la capitalización de los flujos de caja positivos hasta la fecha de finalización del proyecto reinvertidos al coste de oportunidad (o a otro diferente, sí se conoce a qué proyecto se van a destinar estos flujos de caja), y posteriormente actualizados a la Tasa Interna de Rendimiento Modificada, que se obtiene al resolver la ecuación. El término de la izquierda es simplemente el valor presente de los desembolsos de las inversiones cuando se descuentan al costo de capital, y el numerador del término de la derecha es el valor futuro de los flujos de entrada, suponiendo que los flujos de entrada de efectivo se reinvierten al costo de capital. El valor futuro de los flujos de entrada de efectivo también se denomina valor terminal, o de VT. La tasa de descuento que hace que el valor presente del valor terminal sea igual al valor presente de los costos se define como TIRM. El proyecto se considera aceptable si el valor de la TIRM supera al del coste de oportunidad, y entre varias inversiones se elegirá la que tenga mayor TIRM (Mascareñas, 2008; Vera, 2013).

La mayor ventaja de la TIRM sobre la TIR es que elimina varias de sus desventajas. Es decir, supone que los flujos de caja se reinvierten a un coste de capital determinado por la empresa o por su situación, y no al de la propia TIR que era prácticamente imposible, por lo que siempre debería ser utilizada la TIRM.

Pero en la comparación entre el VAN y la TIRM todavía sigue siendo superior el VAN. Si los proyectos que se comparan son de la misma magnitud y duración, los dos métodos conducen a la misma selección. En el caso de que sean de la misma magnitud pero diferente duración, se puede hacer un artificio considerando que los flujos de caja son igual a cero en los años que faltan en el de duración más corta para igualar al de mayor duración y también se obtendrá el mismo resultado en cuanto a selección por los dos métodos. Pero por el contrario, en el caso de que sean de diferente magnitud podrían aparecer diferentes decisiones en el proyecto elegido por el VAN o la TIRM, por lo que deberá ser tenido en cuenta al valorar este tipo de proyectos (Vera, 2013).

### 2.1.4. Índice de Rentabilidad y Relación Beneficio / Coste

El Índice de Rentabilidad se puede considerar como una variante del Valor Actual Neto que consiste en dividir el valor actual de los flujos de caja entre la inversión inicial, en lugar de restarlo como en el VAN. En la ecuación 2.8 se muestra cómo calcularlo, donde el significado de las variables es el mismo que en la ecuación del VAN 2.2 (Mascareñas, 2008; Balibrea, 2013):



## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

$$IR = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j}}{A} \quad (2.8)$$

Una variante es la relación Beneficio / Coste que se ofrece en la ecuación 2.9, en la que los flujos de caja negativos en lugar de restarse en el numerador se suman al denominador, y aunque el resultado es similar en la mayoría de los casos, no es igual, e incluso podría haber grandes diferencias (Hernández, 2002; Sastoque, 2014):

$$B/C = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_{jpositivos}}{(1+k)^j}}{A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_{jnegativos}}{(1+k)^j}} \quad (2.9)$$

Por analogía con el VAN, para que una inversión sea aceptable el Índice de Rentabilidad debe ser mayor que 1, significando que el valor obtenido con el proyecto, convenientemente actualizado, es superior a la inversión inicial. En cuanto a esta conclusión, los resultados que se obtengan serán los mismos que con el VAN. Entre varios proyectos se escogerán los que tengan un Índice de Rentabilidad superior, pero en este caso las conclusiones que se obtengan podrían no ser las mismas que en el VAN, porque este último prima el valor absoluto y no valora inversiones con un bajo VAN, mientras que el IR solo observa la rentabilidad en porcentaje y puede ser muy alta pero de una pequeña cantidad, por lo que esta desventaja tiene que ser tenida en cuenta a la hora de comparar proyectos de diferente magnitud (Mascareñas, 2008).

En cuanto a la relación Beneficio / Coste, también serán aceptables los proyectos con una relación mayor que 1, pero se insiste en que podría haber proyectos en los que no coincida el resultado obtenido con el del IR. Como ventaja frente al Índice de Rentabilidad se podría decir que tiene en cuenta las inversiones añadidas que haya que hacer durante el transcurso de la inversión y no solo sobre la inicial (Hernández, 2002).

En estos casos también aplican las desventajas indicadas para el VAN en cuanto a la tasa de descuento, riesgo, etc.

### 2.1.5. Plazo de Recuperación de la Inversión

El Plazo de Recuperación de la Inversión es el tiempo que pasa desde que se efectúa la inversión hasta que se recupera la cantidad invertida. Para ello se deben ir sumando al desembolso inicial los flujos de caja obtenidos, ya sean positivos o negativos, hasta que se obtiene un valor positivo. El plazo de recuperación de la inversión coincide con el índice temporal del último flujo de caja añadido. Según este método un proyecto será viable si el plazo de recuperación es menor que el que la empresa elija como más conveniente para ella y si se están comparando proyectos, se elegirán aquellos que tengan un plazo de recuperación menor (Mascareñas, 2008; Balibrea, 2013).

Su mejor modo de utilización es hacerlo como complemento de otros métodos. Es decir, en caso de que dos o más proyectos presenten valores parecidos según los otros métodos se puede escoger el de menor plazo de recuperación de la inversión para disminuir el riesgo (Gracia, 2014).



## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

Entre las ventajas de este método destacan:

1. Su cálculo y comprensión son muy sencillos (Mascareñas, 2008).
2. Es muy adecuado para empresas con poca liquidez. En ese caso puede ser que trabaje con inversores externos a los que sea necesario devolverles el capital en una fecha determinada y esta sea la prioridad número uno, seguido después de obtener rentabilidad. Es estos casos es muy apropiado este método (Hernández, 2002; Mascareñas, 2008).
3. Es útil en situaciones de gran incertidumbre en las que no se sabe cuánto tiempo se podrá explotar la inversión (Balibrea, 2011).

Entre las desventajas se pueden citar (Hernández, 2002; Mascareñas, 2008):

1. No considera todos los flujos de caja del proyecto, ya que solo le interesan los que se obtienen hasta sumar el desembolso inicial, lo que puede hacer que se elijan proyectos con escasos flujos de caja al final si obtienen flujos de caja al inicio suficientes, en detrimento de otros en los que sus mayores flujos de caja se den al final de su vida siendo más rentables.
2. No considera el valor temporal de los flujos de caja porque no se descuentan según el momento en el que se consiguen.
3. Excepto en el caso de inversores externos comentado, el periodo de recuperación máximo es un valor con cierto carácter arbitrario elegido por la gerencia.

### 2.1.6. Plazo de Recuperación de la Inversión Descontado

Consiste en actualizar los flujos de caja con una tasa de actualización igual al coste de oportunidad y posteriormente actuar como en el método del plazo de recuperación de la inversión, con lo que se elimina una de las grandes desventajas del método, que era que no tenía en cuenta el valor del dinero en el tiempo. El criterio para selección de proyectos coincide también con el método sin descontar (Mascareñas, 2008; Balibrea, 2013).

El método presenta las mismas ventajas y desventajas que el anterior, excepto la relativa al valor temporal del dinero. (Mascareñas, 2008)

### 2.1.7. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en elaborar varios flujos de caja, variando alguna o varias de las variables que más riesgo presenten a juicio del gerente, con el fin de comprobar cómo afecta a la rentabilidad del proyecto frente a otras condiciones que, aunque menos probables, también podrían suceder. Es una manera de analizar el riesgo que se está cometiendo en caso de que no ocurra lo que se ha contemplado como más probable. Al analizar por separado cada una de las variables se puede comprobar cuál es

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

la que produce mayores variaciones en los resultados, por lo que debería ser calculada con mayor precisión (Mascareñas, 2008; Domínguez, 2009).

El método puede ser utilizado de forma diferente según la aversión al riesgo de cada gerente. Por ejemplo, para un mismo proyecto se pueden calcular diferentes VAN suponiendo que la inversión inicial necesaria sea mayor, que los ingresos descendan, etc. y posteriormente aceptar el proyecto si el VAN ha sido positivo en todos los escenarios o solo en algunos de ellos (Retana, 2007; Domínguez, 2009).

Este método trata de eliminar los problemas achacados a todos los métodos anteriores en lo relativo a que no son capaces de adaptarse a cambios en las condiciones previstas para el desarrollo del proyecto. En realidad este método tampoco lo consigue, ya que los escenarios los hace al inicio, por lo que tampoco se puede adaptar si la realidad es peor que la prevista en el peor escenario (Domínguez, 2009).

Entre sus ventajas cabe destacar su fácil comprensión y aplicación mediante hoja de cálculo. Entre sus desventajas se pueden citar (Retana, 2007):

1. Solo analiza un parámetro en cada simulación.
2. No proporciona la distribución de probabilidad de la TIR o el VAN para las variaciones en la estimación de los parámetros del proyecto.
3. No es adecuada en caso de que la mayoría de los parámetros sean inciertos, siendo más recomendables en ese caso otras técnicas, como árboles de decisión o simulación por el método de Monte Carlo.

### 2.2. NECESIDAD DE UNA ALTERNATIVA

En el punto 2.1 se ha hecho un repaso sobre varios de los métodos de evaluación de proyectos más relevantes y se han conocido sus ventajas y desventajas. En este punto en primer lugar se va a hacer un análisis sobre la utilización que las empresas hacen sobre ellos, utilizando los resultados de una encuesta efectuada a directores financieros de empresas. Cabe entonces preguntarse cómo es posible que sabiendo que los métodos de valoración de proyectos presentan problemas y que en algunos casos siempre aportan resultados erróneos, sigan utilizándose. Por ello se busca una alternativa, encontrándose en las opciones reales.

#### 2.2.1. Estadísticas de utilización

Graham y Harvey (2001) publican una encuesta realizada a 4.440 empresas. Dada la longitud de la encuesta con más de 100 preguntas, solo obtuvieron respuesta de 392 directores financieros, aunque en comparación con otros estudios previos, fue un éxito. Las empresas que respondieron eran de todo tipo, con distintos tamaños y sectores. Las preguntas abarcaban diferentes campos acerca de la gestión de una empresa, y en concreto también sobre la valoración de proyectos que es lo que interesa a esta Tesis.

Existían encuestas anteriores de los años 70 y 80 del pasado siglo sobre la valoración de proyectos, de las cuales se concluía que el método más utilizado era la Tasa Interna

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

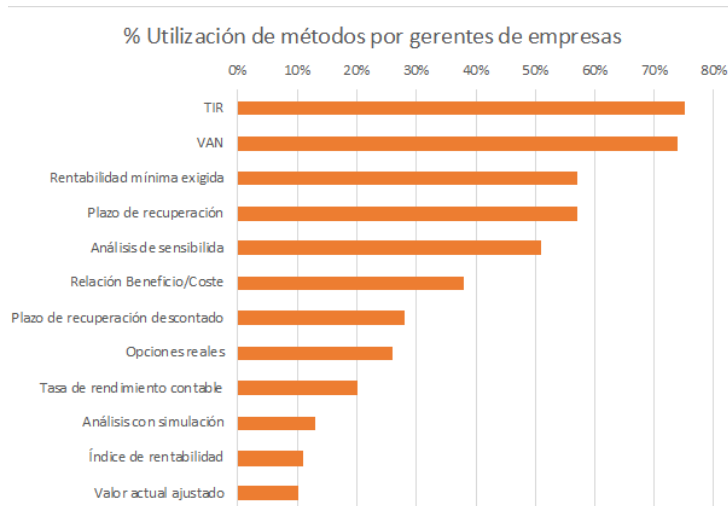


Figura 2.1.: Resultados encuesta utilización de métodos de valoración de proyectos (Graham y Harvey, 2001)

de Retorno, con valores entre el 54 % y el 65 %, también utilizando el Valor Actualizado Neto, y que el 86 % utilizaban un método que descontaba los flujos de caja. En los años 90 prácticamente el 100 % utilizaban métodos con flujos de caja descontados. Pero estos resultados podían conducir a conclusiones erróneas ya que las encuestas se habían hecho solo sobre empresas de las más grandes de Estados Unidos o incluidas en la lista Fortune o Forbes (Hayes y Garvin, 1982). La encuesta de Graham y Harvey (2001) es mejor que las anteriores porque abre el espectro de los encuestados y además pregunta sobre más métodos de valoración, incluyendo el VAN, la TIR, el tiempo de recuperación de la inversión descontado y sin descontar, o métodos novedosos que se explican en los programas de MBA como el *Value at Risk* (VaR) y también las opciones reales.

En la figura 2.1 se pueden ver los resultados de la encuesta en la que se marca un método concreto como utilizado, cuándo un gerente siempre o casi siempre lo usa, aunque sea acompañado de otros.

En ella se observa como aproximadamente el 75 % usa la TIR y el VAN. La tasa de rendimiento mínimo requerida y el plazo de recuperación de la inversión son utilizados por el 55 %. Analizando los resultados más en detalle en el propio documento, por ejemplo por tipo de empresa o de gerente, se observa que las grandes empresas usan más el VAN y la TIR, así como las más apalancadas y las que pagan dividendos. También que las empresas de servicios públicos usan TIR y VAN y también análisis de sensibilidad y simulación, pero puede ser por estar obligadas en sus reglamentos.

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

Sorprende el elevado uso del plazo de recuperación de la inversión, cuando están claras sus graves carencias y desventajas enumeradas en la sección 2.1.5. Pero lo más grave es que, analizándolo por tipo de empresa, se observa que son las pequeñas empresas las que hacen que esté tan alto su uso en los datos agregados, ya que lo utilizan tanto como las grandes el VAN. Su uso aumenta entre los directores financieros más mayores, pero es cierto que lo acompañan del VAN. Quizá este mayor uso en empresas pequeñas pueda deberse a que lo hacen en entornos más volátiles o con inversores externos, como ya se ha explicado en 2.1.5, pero también podría ser porque les ha funcionado en el pasado.

En cuanto al uso de las opciones reales, aunque el resultado de la gráfica parece esperanzador, con un uso del 26 %, no lo es tanto si se observan los resultados desagregados, ya que el resto no las utiliza prácticamente. También se observa que su uso es más alto en grandes empresas, y en aquellas que no pagan dividendos y no tienen grado de inversión. Son más utilizadas en empresas no reguladas y en privadas, así como en las exportadoras y en las que están en la lista Fortune 500. En cuanto a los directores financieros, son más utilizadas por los de mayor edad, por los que llevan más tiempo en el puesto y por los que tienen MBA aunque esta última diferencia no es muy elevada.

Como conclusión de su encuesta [Graham y Harvey \(2001\)](#) indican que el VAN está siendo ahora utilizado más que en el pasado, siguiendo con la evolución creciente de su uso que ya se observaba en anteriores encuestas, apoyado claro está por su facilidad de uso con hojas de cálculo. Frente a este buen resultado se observa que no se aplica correctamente la tasa de descuento, utilizando cada empresa en particular siempre la misma, aunque esté trabajando en diferentes países o diferentes proyectos, por lo que el VAN no se estaría aplicando correctamente. Por último, como ya se ha adelantado, se observa que las pequeñas empresas usan menos el VAN que las grandes.

### 2.2.2. Las Opciones Reales como alternativa.

Se ha visto en la sección 2.1 que los métodos tradicionales presentan grandes problemas para la valoración de proyectos. Trigeorgis es uno de los autores más prolíficos en cuanto a opciones reales se refiere. Por ejemplo, en [1993b](#) indica que métodos como el VAN, que se puede decir que es el menos malo, se deberían calificar como inadecuados, ya que no son capaces de capturar la flexibilidad de los directores financieros para adaptarse o revisar posteriormente las decisiones tomadas al inicio del proyecto, aprovechando la disipación de la incertidumbre producida por el paso del tiempo. El método VAN asume que el escenario esperado será el mismo durante toda la vida del proyecto y que los gerentes adoptarán una actitud pasiva. Ya en 1993, Trigeorgis hablaba de que en unos mercados tan cambiantes como los de esa época no se podía asumir como bueno un método que no era capaz de adaptarse a la información que estaba llegando. Ni que decir tiene que durante este cuarto de siglo que ha pasado, la situación de mercados con constantes cambios no ha hecho nada más que incrementarse.

El método VAN utiliza una tasa de descuento que es la que incluye el riesgo que se le asigna al proyecto. Esta tasa se supone constante y asume por lo tanto que el riesgo permanecerá igual durante todo el tiempo que dure el proyecto. Pero en la realidad

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

esto no es así cuando se toman decisiones de manera secuencial y en función de la información que se va obteniendo (Espinosa, 2012). Es necesario por lo tanto, buscar una solución. Como también indica Trigeorgis (1993a) la solución que se ha utilizado hasta ahora es apoyarse en la intuición, juicio y experiencia de los gerentes. Esto no es admisible en un ambiente tan competitivo como el actual y es preciso apoyarse en la técnica de las opciones reales.

Son muchos los autores que están de acuerdo con que deben usarse otras técnicas además de los métodos tradicionales. Por citar algunos de ellos, Trigeorgis (1993b), Dixit y Pindyck (1994), Mascareñas (2007), Bowman y Moskowitz (2001) y Kodukula y Papudesu (2006) entre otros, indican que los modelos tradicionales aportan una rigidez de cálculo tal, que llegan a subestimar a menudo, el valor de una inversión, ya que solo consideran los flujos de fondos esperados si se acomete dicha inversión y sin embargo, no consideran los beneficios derivados de otros factores estratégicos fundamentales, como la propia flexibilidad operativa o el derecho a decidir según las circunstancias del mercado. Esto no significa que los métodos clásicos no puedan ser utilizados en ninguna ocasión. Por ejemplo, cuando se trata de inversiones que, o se hacen ahora o no se hacen, sí son válidos. Pero no lo son cuando haya flexibilidad operativa como poder postergar el momento de ejecución de la inversión, u oportunidades de crecimiento contingentes.

Gravet (2003) indica que el VAN no debería ser utilizado en ambientes de alta volatilidad de precio, ya que ese método reemplaza la distribución de los precios futuros por sus valores esperados y causaría errores en el cálculo de los flujos de caja esperados y en las tasas de descuento apropiadas. Coincide con los autores anteriores en señalar que el VAN no considera las flexibilidades que presenta un proyecto y que es muy difícil estimar la tasa de descuento; y añade una ventaja de las opciones reales, como es que además de evaluar el valor del proyecto de inversión, también determina la política óptima que maximiza su valor.

Tampoco consideran el valor estratégico que tiene cada proyecto de inversión resultante de incorporar una nueva tecnología y las consecuencias que tendría en cuanto a la competitividad alcanzada. De esta manera tiende a frenarse incluso el avance del propio sector, ya que los proyectos más ambiciosos y prometedores son infravalorados y a menudo rechazados (Hayes y Garvin, 1982; Pardo *et al.*, 2004).

Kester (1984) indica que la mayor parte de las técnicas anteriores no son adecuadas para su uso en la práctica. Por ejemplo, el VAN no contempla que las futuras oportunidades de inversión son discretionales. Aparecen problemas en el momento de cuantificar algunos valores contables, el valor de liquidación, etc. El análisis mediante árboles de decisión se puede decir que funciona, pero es a costa de que los gerentes tracen todos los futuros puntos de decisión, las contingencias que puedan aparecer y las probabilidades de cada una de ellas. Este método es muy difícil de aplicar incluso en empresas con un número pequeño de proyectos. El recurso utilizado por muchas empresas es aislar un proyecto y analizarlo cualitativamente, pero este análisis se deja en manos del juicio y experiencia de los gerentes y esto acarrea problemas causados por la fe ciega de algunos gerentes en determinados proyectos, por lo que a veces el resultado es todavía peor que si se hubiera aplicado el VAN.

Forcael *et al.* (2013) indican que el método de las opciones reales puede ser utilizado

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

como complemento de los métodos tradicionales de valoración. Aunque en ocasiones ambos enfoques pueden conducir a recomendaciones opuestas, ya que sus principios de aplicación no están relacionados entre sí. Por ello en ocasiones puede ser necesario desestimar los resultados de tipo cuantitativo por lo cual se anteponen factores estratégicos y de flexibilidad operativa, que pueden ser considerados de igual valor, o incluso superior, que los flujos de caja obtenidos por la teoría financiera.

Los métodos tradicionales valoran más los proyectos que aportan más tesorería en contra de aquellos que generan activos intangibles de gran repercusión en la competitividad y eficiencia de la empresa. Por ejemplo, invertir en un determinado proyecto puede aportar a la empresa conocimiento, flexibilidad tecnológica, capacidad de innovación, mejora en la calidad de sus productos o de su marca, valores todos estos que aportan gran valor a la empresa (Baldwin y Clark, 1992; Fuente, 1999).

Segura (2012) indica que en proyectos con alto nivel de incertidumbre sobre su finalización, o sobre el coste de los materiales empleados, así como del valor de las ventas, como en los de biotecnología, los métodos tradicionales son insuficientes. Estas condiciones son totalmente aplicables a un proyecto inmobiliario en un mercado en crisis como el que actualmente se vive en España.

Tras aceptar que es necesario incorporar el valor de las opciones reales, una forma sencilla de hacerlo se encuentra en la fórmula 2.10 (Trigeorgis, 1993a; Mascareñas, 2007):

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales} \quad (2.10)$$

Cuanto mayor sea el número de opciones con las que cuenta la empresa y la incertidumbre, mayor será el valor añadido por las opciones reales (Hernández, 2002). Otras razones por las que aumenta el valor respecto al VAN básico se encuentran en Kester (1984) y Hernández (2002):

1. El periodo de tiempo durante el cual se puede decidir iniciar una inversión. Cuanto mayor sea el tiempo, más información se tendrá del entorno y será más difícil cometer un error en la decisión, por lo que el valor de las opciones será mayor.
2. El riesgo del proyecto influye positivamente, ya que un mayor riesgo suele conllevar una mayor rentabilidad.
3. Los tipos de interés elevados en general disminuyen el valor de un proyecto por aumentar la tasa de actualización. Pero por otra parte, también disminuyen el precio de ejercicio de la opción por lo que en algún proyecto determinado podría ser que aumentando el tipo de interés aumentara el valor del proyecto.
4. El grado de exclusividad de la opción para aceptar un proyecto de inversión influye también, ya que son más valiosas las opciones exclusivas.

La ecuación 2.10 proporciona más que una fórmula para calcular el VAN, en realidad está definiendo un nuevo marco conceptual en el que el valor de la inversión viene determinado no solo por los flujos de caja derivados de la decisión tomada al inicio, sino que también por los derechos sobre decisiones futuras que tiene la empresa, siendo en

## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

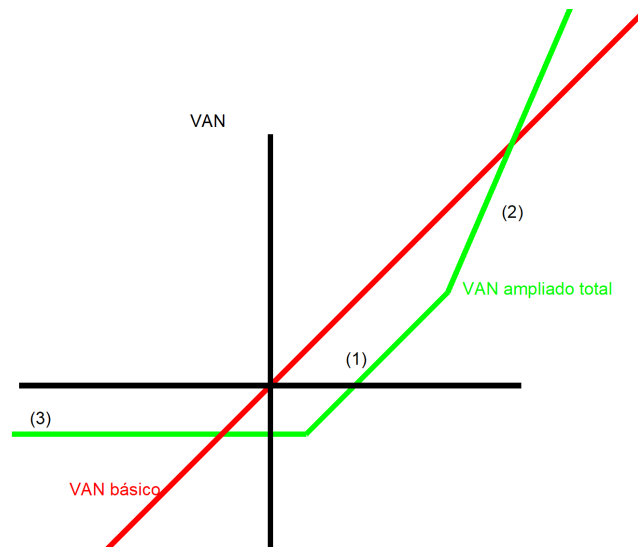


Figura 2.2.: Asimetría entre VAN total y tradicional al ejercer opciones reales (Palomares, 2010)

algunos casos estas las más importantes. El VAN ampliado se diferencia del básico en que tiene en cuenta la posibilidad de los gerentes de modificar las decisiones tomadas en el inicio y recoge el valor de las oportunidades de crecimiento y flexibilidad (Fuente, 1999).

Las opciones reales se deben incorporar cuando la decisión de invertir pueda estar influenciada por el grado de irreversibilidad de la inversión, por la incertidumbre del entorno o de la propia inversión, y si existe posibilidad de cambios en la misma por los gerentes o directores financieros de la empresa. Es decir, es adecuada si existe una gran incertidumbre y los gerentes pueden actuar, no tendría sentido practicarla en inversiones sin riesgo, como por ejemplo, llevándolo al extremo, en una inversión de bonos del Tesoro. También se aplica en aquellos proyectos en los que el VAN es negativo o cercano a serlo, porque aplicando las opciones reales podría ocurrir que pasara a positivo, aunque se debe estar seguro de poder ejercer las opciones reales utilizadas en el cálculo. Si ya es ampliamente positivo de por sí, seguramente se acometerá (Mascareñas, 2007; Fernández, 2008).

Por otra parte, Fuente (1999) indica que con este enfoque se comprenden ahora ciertas actitudes de empresas, como que no invirtieran en proyectos con VAN positivo o que no abandonarían inversiones ruinosas, lo cual antes se justificaba con conductas ineficientes de la economía industrial, como barreras a la movilidad que dificultan la entrada y salida de empresas y que eran la causa de los retrasos en la adopción de decisiones. Ahora en cambio, con las opciones reales se interpreta de forma diferente, es decir, como la respuesta racional de las empresas que reconocen la vigencia de derechos de inversión y abandono que poseen, así como la volatilidad e impredecibilidad de acontecimientos futuros.



## 2. VALORACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

En la figura 2.2 se ve la asimetría entre el VAN Total y el VAN tradicional al aplicar opciones reales. En el caso de no aplicarlas se observa que la línea es la bisectriz del primer y tercer cuadrante, siendo las pérdidas ilimitadas. Por el contrario, al aplicar opciones reales aparecen varias líneas más. En primer lugar, con las opciones reales se está posponiendo el momento de la inversión, por lo que durante un tiempo se está dejando de percibir dividendos, por lo que al acometer la inversión se habrán perdido flujos de caja positivos y por lo tanto el beneficio obtenido puede haber disminuido, siendo esta la zona paralela que se observa (1). Pero también puede ocurrir que gracias al conocimiento adquirido se haya reorientado el proyecto, obteniendo así mayores flujos de caja y por lo tanto aumentando la rentabilidad. Esta es la recta con mayor pendiente que se observa en la zona derecha de la figura (2). Por último, gracias al conocimiento adquirido, en el caso de que el proyecto sea ruinoso, se abandonará, habiendo pagado solo el coste de la opción, y por lo tanto limitando las pérdidas. Esta es la recta horizontal del tercer cuadrante (3) (Palomares, 2010).



## 3. LAS OPCIONES REALES

Aquí hay una carta que escribió mi hermano el día antes de morir. Aquí un sombrero antiguo. Estas plumas... nunca llegué a usarlas. No, no hay sitio. ¿Cómo podremos vivir sin nuestras vidas? ¿Cómo sabremos que somos nosotros si no tenemos pasado? No. Déjalo. Quémalo.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

En este capítulo se va a repasar la teoría existente actualmente de opciones reales. En primer lugar se explicará qué son exactamente, posteriormente se expondrán sus tipos, los métodos de valoración y se finalizará mostrando ejemplos de gestión de opciones reales.

### 3.1. DEFINICIÓN

En el capítulo 2 se han visto los problemas que tiene la valoración de proyectos por métodos tradicionales. Uno de los principales es que no son capaces de manejar la incertidumbre. Las opciones reales sí consiguen disminuirla, por lo menos en parte, e incluso aprovecharse de ella.

Pero la primera pregunta que se debe contestar es: ¿Qué son las opciones reales? Y como indica Neufville (2003), para empezar se debe aclarar cuál es la diferencia entre una opción en el lenguaje común y en el financiero. En el lenguaje común, según definición del diccionario de la RAE, sería la libertad o facultad de elegir. Pero ya el propio diccionario se encarga de avisar que en lenguaje económico su significado es diferente, derecho a comprar o vender algo en plazo y precio previamente acordados (Real Academia de la Lengua Española, 2014). Muchos autores las definen como derecho, pero no obligación a..., y quizá sea mejor añadirlo para que no quede ninguna duda, porque podría haber ocasiones en las que el derecho a algo conlleve la obligación y en este caso, lo realmente importante es que no se está obligado a ejercer la opción.

La diferencia entre las opciones financieras y las opciones reales son el activo subyacente sobre el que actúan. Una opción financiera puede ser sobre la compra de acciones, sobre el tipo de cambio, sobre el precio de un mineral, etcétera. Cada día aparecen nuevos tipos, con soluciones para diferentes productos financieros y cada vez más complejas. Pero las opciones reales se ocupan de proyectos físicos, en lugar de contratos financieros. Más concretamente se refieren a elementos de un sistema que proporcionan derechos, pero no obligaciones para alcanzar alguna meta o actividad, y más concretamente, todos aquellos que proporcionan flexibilidad (Neufville, 2003).

### 3. LAS OPCIONES REALES

Como ejemplos de opciones reales relacionados con el mundo inmobiliario se pueden citar: la posibilidad de realizar por fases una urbanización, la de cambiar el uso de un edificio ya construido entre viviendas u oficinas dejando previstas las instalaciones, dimensiones, etc., y muchas más que serán desarrolladas en la sección 4.6.

Como introducción para comprender de manera sencilla cómo funcionan las opciones reales Kodukula y Papudesu (2006) y Dixit y Pindyck (1994) ofrecen ejemplos sencillos como el de un proyecto en el que se invierte hoy 100 € con una probabilidad del 50 % de obtener 200 € y también del 50 % de obtener 70 €, por lo que el rendimiento esperado es de 135 €. También se tiene la opción de posponer la decisión durante un año, cuando se espera que la incertidumbre desaparezca. La tasa de descuento se ha supuesto del 10 %.

Aplicando la fórmula 2.2, se obtiene un VAN de 22.72 €, por lo que se aceptaría el proyecto al ser mayor que 0:

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} = -100 + \frac{135}{(1+0.10)^1} = 22.72€$$

Si se valora el VAN del proyecto en lugar de con el valor esperado, con el valor para cada uno de los valores probables, teniendo en cuenta que el proyecto empezará dentro de un año y multiplicados por su probabilidad:

$$VAN_{alto} = p \cdot \left( -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \right) = 0.5 \cdot \left( \frac{-100}{(1+0.10)^1} + \frac{200}{(1+0.10)^2} \right) = 37.19€$$

$$VAN_{bajo} = p \cdot \left( -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \right) = 0.5 \cdot \left( \frac{-100}{(1+0.10)^1} + \frac{70}{(1+0.10)^2} \right) = -16.52€$$

Es decir, el riesgo de obtener un muy mal resultado existe. Pero como se ha explicado, existe la opción de esperar un año y en ese caso se obtendrá el resultado del VAN alto sin riesgo, aunque se debe tener en cuenta que solo hay un 50 % de probabilidad de que se dé. Por lo tanto, el valor añadido por la opción real de posponer es de 37,19 - 22,72 = 14,47 €, y este es el precio que se podría pagar por la opción. Aplicando la ecuación 2.10 del VAN ampliado:

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales} \Rightarrow 37.19 = 22.72 + VA_{opciones\ reales} \Rightarrow VA_{opciones\ reales} = 14.47€$$

Es importante aclarar que el proyecto, aunque no hubiera contado con la opción de posponer, se habría realizado igualmente, pese a tener un alto riesgo, ya que el método del VAN así lo habría indicado.

Con este sencillo ejemplo también es fácil comprobar como las opciones disminuyen su valor cuando baja la incertidumbre. Por ejemplo, si el escenario alto solo ofreciera

### 3. LAS OPCIONES REALES

Flexibilidad	Valor Opciones Medio	Valor Opciones Alto
	Valor Opciones Nulo	Valor Opciones Pequeño
	Incertidumbre	

Figura 3.1.: Conveniencia de utilización de las opciones reales. (Kodukula y Papudesu, 2006)

un rendimiento de 175 € y el bajo de 95, con las mismas probabilidades y por lo tanto el mismo valor esperado de rendimiento:

$$VAN_{alto} = p \cdot \left( -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \right) = 0.5 \cdot \left( \frac{-100}{(1+0.10)^1} + \frac{175}{(1+0.10)^2} \right) = 26.86€$$

$$VAN_{bajo} = p \cdot \left( -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \right) = 0.5 \cdot \left( \frac{-100}{(1+0.10)^1} + \frac{95}{(1+0.10)^2} \right) = -6.20€$$

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales} \Rightarrow 26.86 = 22.72 + VA_{opciones\ reales} \Rightarrow VA_{opciones\ reales} = 4.14€$$

Es decir, en el caso de tener que pagar por la opción real, el precio que se debe pagar con menos incertidumbre es menor que en el primer caso, con mayor incertidumbre.

En la figura 3.1 se observa cuando es más adecuada la utilización de opciones reales según el valor que aportan. Como se puede comprobar lo más importante es la flexibilidad de los gerentes, seguido por la presencia de incertidumbre.

Pero hay ocasiones, en las que pese a tener flexibilidad en las decisiones a tomar no aportan valor, y eso ocurre en aquellos proyectos en los que el VAN es muy positivo o negativo, ya que es improbable que se cambie de decisión pese a poder hacerlo. Es decir,

### 3. LAS OPCIONES REALES

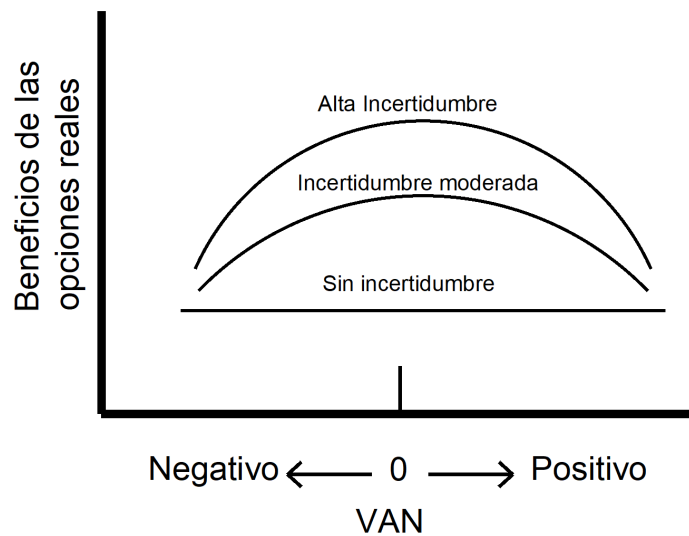


Figura 3.2.: Efecto del valor del VAN sobre beneficios aportado por las opciones reales. (Kodukula y Papudesu, 2006)

un proyecto que tiene un VAN muy alto probablemente se llevará a cabo en cualquier caso y viceversa. En la figura 3.2 se muestra este efecto.

Cuando un gerente se encuentra con un alto valor de las opciones reales, significa que tiene ante él un mercado con alta incertidumbre y alto potencial de crecimiento. Las decisiones que tiene que tomar serán las encaminadas a despejar esta incertidumbre y aprovechar el crecimiento. Por ejemplo, puede hacer pequeñas inversiones, estudios de mercado, o un lanzamiento de un producto de prueba para ver el comportamiento, y si los resultados son favorables seguir adelante. Esta actitud se denomina aprendizaje activo. Por el contrario, el aprendizaje pasivo se denomina a aquel que se limita a esperar y ver, lo cual en ocasiones es suficiente para eliminar la incertidumbre (Kodukula y Papudesu, 2006).

#### 3.1.1. Analogía entre opciones financieras y opciones reales

Hay dos tipos de opciones financieras, las opciones *call* y las *put*. Las *call* dan el derecho a comprar, pero no la obligación, una determinada cantidad del activo subyacente a un precio fijo denominado precio de ejercicio o *strike*, durante (opciones americanas) o solo al final (opciones europeas) de un plazo de tiempo determinado. Para tener este derecho el comprador de la opción debe pagar una prima. Si al final del plazo el valor del subyacente es menor que el del *strike*, el poseedor de la opción no la ejercerá y quedará sin valor. Por el contrario, si el precio es superior al *strike*, el poseedor ejercerá la opción comprando el subyacente al precio del *strike* y obteniendo unos beneficios brutos iguales a la diferencia entre el valor del subyacente y el *strike*. Para obtener los beneficios

### 3. LAS OPCIONES REALES

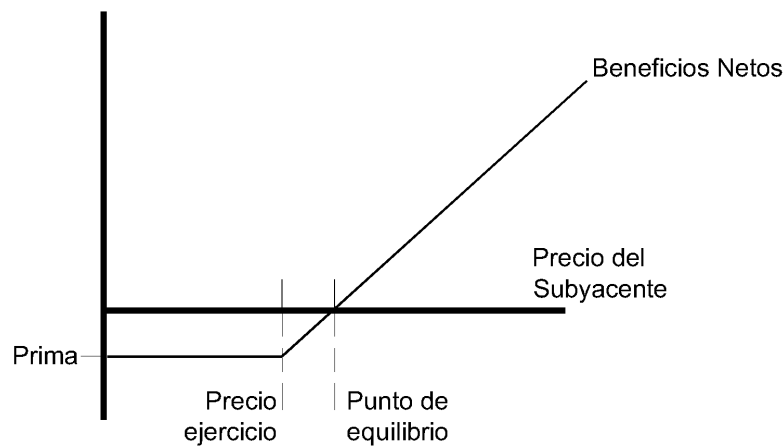


Figura 3.3.: Beneficios netos de una opción *call* (Damodaran, 2007).

netos se debe restar el valor de la prima pagada, que en el caso de que el valor del subyacente sea menor que el *strike*, se traduce en pérdidas iguales al valor de la prima, independientemente de cuánto más bajo sea el precio del subyacente (Damodaran, 2007). En la figura 3.3 se refleja gráficamente lo expuesto.

Las *put* dan el derecho a vender pero no la obligación, una determinada cantidad del activo subyacente a un precio fijo denominado precio de ejercicio o *strike*, durante (opciones americanas) o solo al final (opciones europeas) de un plazo de tiempo determinado. Para tener este derecho el comprador de la opción debe pagar una prima. Si al final del plazo el valor del subyacente es mayor que el del *strike*, el poseedor de la opción no la ejercerá y quedará sin valor. Por el contrario, si el precio es menor al *strike*, el poseedor ejercerá la opción vendiendo el subyacente al precio del *strike* y obteniendo unos beneficios brutos iguales a la diferencia entre el valor del *strike* y el subyacente. Para obtener los beneficios netos se debe restar el valor de la prima pagada, que en el caso de que el valor del subyacente sea mayor que el *strike*, se traduce en pérdidas iguales al valor de la prima, independientemente de cuánto más alto sea el precio del subyacente (Damodaran, 2007). En la figura 3.4 se refleja gráficamente lo expuesto.

Los factores que determinan el precio de las opciones son varios (Damodaran, 2007):

1. Valor actual del subyacente. Las opciones son activos vinculados a un subyacente. Por ello el aumento de precio del subyacente hará que el precio de una opción *call* (*put*) suba (baje). Por el contrario, si el precio del subyacente baja, hará que el precio de una opción *call* (*put*) baje (suba).

### 3. LAS OPCIONES REALES

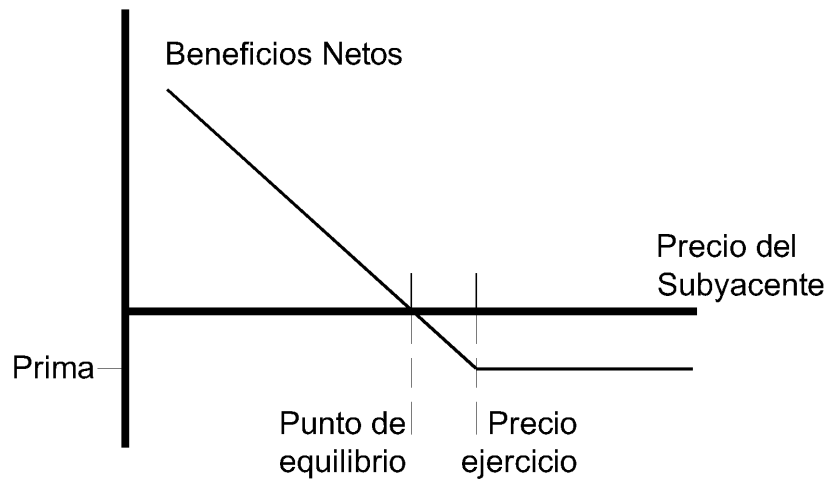


Figura 3.4.: Beneficios netos de una opción *put* (Damodaran, 2007).

2. Volatilidad del subyacente. Aunque la intuición pudiera hacer pensar que un aumento de la volatilidad sería negativo para el valor de una opción, como pasa en la mayor parte de los activos, que disminuyen su valor con el aumento del riesgo, en el caso de las opciones es diferente. Esto se debe a que el riesgo es limitado y conocido desde el inicio, siendo la máxima pérdida la totalidad de la inversión. Pero un aumento de la volatilidad y por lo tanto de la varianza de los precios del subyacente también implica que aumenta la probabilidad de conseguir mayores beneficios, manteniendo las posibles pérdidas. Por ello, un aumento de la volatilidad haría subir el precio de una opción *call* y también de una opción *put*, mientras que un descenso de la misma, haría bajar el precio de ambas opciones.
3. Dividendos pagados por el subyacente. Como seguramente es conocido por el lector, el pago de dividendos por parte de un subyacente hace que este disminuya su valor en el momento del pago. Por lo tanto, si se anuncia un pago de dividendos no esperado, ya que los dividendos esperados están descontados ya en el precio de la opción, el precio de una opción *call* (*put*) bajará (subirá). Otra forma de entender la influencia del pago de dividendos sería planteando la hipótesis de un poseedor de una opción que está *In The Money*. Si la ejerciera antes del pago de un dividendo recibiría el pago de este, mientras que si la ejerciera después no lo cobraría. Al final, el precio del subyacente será el mismo, pero él no tendría el dividendo.
4. Precio de ejercicio o *strike*. Para comprender su influencia se deben comparar dos opciones del mismo subyacente pero con distinto precio de ejercicio. Para un

### 3. LAS OPCIONES REALES

Factor	Efecto en valor de la opción	
	Opción <i>call</i>	Opción <i>put</i>
Aumento precio subyacente	Aumento	Disminución
Aumento en volatilidad del subyacente	Aumento	Aumento
Aumento en dividendos del subyacente	Disminución	Aumento
Aumento en precio de ejercicio	Disminución	Aumento
Aumento en tiempo hasta expiración	Aumento	Aumento
Aumento en tipos de interés	Aumento	Disminución

Tabla 3.1.: Efectos sobre las opciones de la variación de diferentes factores (Damodaran, 2007).

determinado precio de subyacente, si aumenta el precio de ejercicio, el precio de una *call* (*put*) disminuirá (aumentará). Por el contrario, si disminuye el precio de ejercicio, el precio de una *call* (*put*) aumentará (disminuirá).

5. Tiempo hasta la expiración de la opción. Tanto las *call* como las *put* aumentan su valor si aumenta el tiempo hasta la expiración y disminuyen su valor si el tiempo disminuye. Esto se debe a que cuanto mayor es el tiempo durante el cual se puede ejercer la opción, mayor es la probabilidad de que el precio se mueva en el sentido favorable y obtener más beneficios, sabiendo que las pérdidas están limitadas. Además, en el caso de una *call*, en la que hay que hacer un pago en el momento de la expiración, cuanto más lejano esté el momento del pago menor será el valor actualizado de ese pago.
6. Tasa de interés sin riesgo correspondiente al tiempo de vida de la opción. Pagar el precio de una opción conlleva un coste de oportunidad, el cual depende del nivel de los tipos de interés y del tiempo hasta la expiración de la opción. Además el tipo de interés también se debe considerar porque para calcular el precio de una opción se debe actualizar el pago (cobro) en una *call* (*put*) en el tiempo de expiración, por lo que aumentos en los tipos de interés incrementarán (disminuirán) el valor de una *call* (*put*).

En la tabla 3.1 se observa un resumen de los efectos analizados para cada tipo de opción.

La analogía de las opciones financieras con las opciones reales consiste en equiparar una opción real con una financiera buscando sus similitudes. Ya se ha dicho que la primera consiste en que también hay un activo subyacente, pero que en lugar de ser un activo financiero se trata de un activo real. A continuación se van a comparar los factores que influyen en el precio de una opción financiera para ver qué significado tienen en una opción real (Fernández, 2008; Aarle, 2013). Más adelante en esta Tesis, en la página 100 se explica el valor correcto a introducir en los modelos, una vez que éstos han sido estudiados y se puede analizar más profundamente:

### 3. LAS OPCIONES REALES

- Opción financiera: Valor actual del subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Valor actual del proyecto**, de la inversión de la compra o de cualquier activo real considerado. En una opción financiera se obtiene fácilmente de los mercados financieros. Pero en una opción real no hay mercados financieros para consultarlo por lo que suele ser bastante más complicado de encontrar. Se utilizan dos métodos básicamente para su estimación (Copeland y Antikarov, 2001):
  - Mercados financieros.  
Es muy difícil, pero podría ocurrir, que se encontrara un mercado financiero muy especializado que cotizara un activo real como el que se estuviera estudiando. En esos casos se obtiene del precio del mercado.
  - El *Market Asset Disclaimer* (MAD) o Renuncia al Mercado de Activos.  
Lo que ocurre en prácticamente todas las ocasiones es que no se encuentra un mercado en el que cotice el activo real. Si existe un mercado en el que cotice un activo similar, se puede crear una cartera que replique el comportamiento del activo real. Tras crearla se debe escalar convenientemente para que genere los mismos resultados que el activo real.  
Pero una vez más, es prácticamente imposible encontrar esta cartera réplica. Copeland y Antikarov (2001) dicen que lo más adecuado es utilizar el valor actualizado neto sin flexibilidad como la mejor aproximación no sesgada al valor del activo real. Esto es llamado la *Market Asset Disclaimer* (MAD) o Renuncia al Mercado de Activos.
- Opción financiera: Volatilidad del subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Volatilidad de los flujos de caja del proyecto**. Al existir flexibilidad en las decisiones de los gerentes de una empresa se genera incertidumbre, lo cual incrementará la volatilidad, lo cual a su vez incrementará el precio de la opción. La volatilidad es a menudo la variable que tiene mayor impacto en el precio de la opción. Pero la gran diferencia con las opciones financieras es que, como estas últimas cotizan en los mercados financieros, es relativamente fácil obtener la volatilidad histórica o la implícita, pero la de las opciones reales debe ser obtenida de otra manera.  
Una opción es obtenerla de la desviación estándar de los logaritmos de los flujos de caja, no de los reales, del activo subyacente y se suele expresar en % anual (Kodukula y Papudesu, 2006). En posteriores apartados se mostrarán algunos métodos para estimarla, pero como indican en las conclusiones de su artículo Majd y Pindyck (1987), en ocasiones puede ser imposible estimarla.
- Opción financiera: Dividendos pagados por el subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Pérdida de flujos de caja**. En las opciones financieras, un pago de dividendo supone un pago cobrado por el poseedor del activo subyacente, por ejemplo, el pago de dividendos de unas acciones, que como se ha explicado anteriormente, deja de cobrar el poseedor de la opción. Aunque los activos reales no pagan dividendos, esta variable es muy importante en las opciones reales. Se compara con un flujo de caja que se ha perdido y no se cobra. Esto puede ser debido a un incremento de la competencia que haga que disminuyan. Son muy difíciles de implementar en el



### 3. LAS OPCIONES REALES

modelo, tanto en cantidad como en el tiempo en el que ocurrirá, ya que depende de influencias externas al proyecto.

4. **Opción financiera: Precio de ejercicio o *strike* ⇒ Opción real: Cantidad de dinero a invertir si se ejerce la opción real.** También puede ser el dinero que se recibe en caso de abandono, lo cual se da en el caso de opciones *put*. En las opciones financieras el precio de ejercicio es conocido porque se firma en el contrato. En algunas opciones reales también puede ocurrir que esté determinado por contrato la cantidad de dinero a invertir, pero no en todas. En las que no está firmado se puede suponer como precio de ejercicio el valor actual de las inversiones que sea necesario hacer en cualquier momento de la vida del proyecto. Otra forma de solucionar el problema puede ser crear una opción real compuesta con muchos puntos de decisión.

La realidad es que en muchos proyectos puede haber gran incertidumbre para conocer las inversiones futuras, por lo que los precios de ejercicio de las opciones reales en realidad se pueden considerar estocásticos.

5. **Opción financiera: Tiempo hasta la expiración de la opción ⇒ Opción real: Tiempo desde que surge la oportunidad hasta que se puede aprovechar.** En el caso de opciones financieras es muy sencillo, ya que es el tiempo entre que se firma el contrato hasta su expiración, tanto en opciones europeas como americanas, independientemente de si se ejercen anticipadamente. En el caso de opciones reales puede ser fácil o difícil. Es fácil en el caso de que la empresa tenga una licencia para invertir o una fecha de finalización. Pero en otras ocasiones puede ser infinito, como en el caso de una opción de aplazamiento. El tiempo de expiración puede depender también de la competencia, de cambios en la tecnología o de factores macroeconómicos y no se dan de forma explícita.

La influencia en el precio de la opción es la misma que en la opción financiera, a mayor tiempo, mayor valor, ya que permite disipar la incertidumbre. Pero como se ha dicho, al poder considerar incluso tiempos infinitos, se debe tener cuidado de no sobrevalorar el precio de la opción real. Una forma de solucionarlo sería penalizando el valor a partir de un determinado momento vía precio de ejercicio o dividendos.

6. **Opción financiera: Tasa de interés sin riesgo correspondiente al tiempo de vida de la opción ⇒ Opción real: Tasa de retorno de una inversión sin riesgo.** Para las opciones financieras, una vez más, es sencillo de obtener utilizando los tipos de interés de los Bonos del Estado para el plazo que se esté estudiando. En las opciones reales se podría utilizar la misma referencia, pero el problema surge porque no es conocido en muchas ocasiones el tiempo de expiración. Por lo que la tasa libre de riesgo también sería estocástica. Al igual que en las opciones financieras, al aumentar la tasa de interés aumenta el valor de la opción o la disminuye en función de su tipo.

En la tabla 3.2 se resumen los puntos anteriores (Fuente, 1999; Palomares, 2010):

### 3. LAS OPCIONES REALES

Variable	Opción de compra financiera	Opción real en opciones de inversión	Opción real en opciones de abandono
S	Precio del activo financiero subyacente	Valor actual de los flujos de caja que generaría el activo real	Valor actual de los flujos de caja de la inversión actual
X	Precio de ejercicio al que se tiene derecho a comprar el subyacente	Coste del proyecto de inversión	Precio de venta de los activos
t	Tiempo hasta el vencimiento de la opción	Tiempo que se puede demorar la decisión de realizar la inversión	Tiempo hasta el final de la vida útil del proyecto
$\sigma^2$	Varianza de los rendimientos del activo subyacente	Riesgo de variación del valor actual de los flujos de caja del futuro proyecto	Riesgo de variación del valor actual de los flujos de caja del proyecto actual
k	Tasa de interés sin riesgo	Tasa de descuento	Tasa de descuento
D	Dividendos del activo subyacente	Flujos de caja a los que se renuncia mientras se demora la inversión	Flujos de caja que se perderían si se vende la inversión

Tabla 3.2.: Analogía entre opciones financieras y reales (Fuente, 1999; Palomares, 2010).

### 3. LAS OPCIONES REALES

Opciones Financieras	Opciones Reales
El subyacente son títulos que cotizan en el mercado.	Los subyacentes son activos reales disponibles en el mercado.
La mayoría no son emitidas por las empresas relativas al subyacente sino por agentes independientes.	Son creadas o encontradas por los gerentes de las empresas que controlan los activos objeto de la opción.
El agente que emite la opción no influye sobre el valor de las acciones ni sobre las decisiones que puedan cambiar su valor.	Los gerentes de la empresa propietaria del activo disponen de este a voluntad.
El riesgo es completamente exógeno; la incertidumbre sobre la tasa de retorno del activo no puede ser manipulada por los agentes que compran o venden.	Las acciones de la empresa pueden afectar las acciones de la competencia y modificar la incertidumbre asociada a la opción real.
Se basa en el arbitraje y en la formación de una cartera equivalente, la cual proporciona flujos idénticos a la opción.	Casi nunca se crean carteras equivalentes, aunque se pueden modificar las fórmulas para considerar la no formación de esta cartera.
No depende de la revalorización esperada del activo subyacente.	Si depende de la revalorización esperada del activo subyacente.
El precio de ejercicio es fijo.	El precio está asociado a los costes de la inversión por lo que es variable y fluctúa según las condiciones de mercado.

Tabla 3.3.: Diferencias entre opciones financieras y reales (Mendiola *et al.*, 2014).

Pero entre las opciones reales y las financieras también existen muchas diferencias que es necesario conocer para no cometer errores en la valoración. En la tabla 3.3 se muestran algunas de ellas (Mendiola *et al.*, 2014).

### 3.2. TIPOS DE OPCIONES REALES.

Las opciones reales son muy variadas e incluso algunas de ellas pueden ser apropiadas solo para un proyecto concreto. En este apartado se van a explicar varias de las más comunes. Para poder identificar opciones reales en el proyecto con el que se está trabajando es fundamental, en primer lugar, saber cuáles existen en general, para después aplicarlas adaptándolas al caso concreto de estudio.

### 3. LAS OPCIONES REALES

#### 3.2.1. Aplazamiento

Una de las opciones más conocidas, además de que es común que se dé en la práctica, es la opción de aplazamiento de la inversión (*to wait*). Es útil para aquellas empresas que tienen prevista una expansión o una inversión irreversible en condiciones de gran incertidumbre económica y prefieren invertir cuando esta se disipe. Es aplicable a la valoración de patentes o de explotación de recursos naturales, como reservas petrolíferas, y también para solares y terrenos para la construcción de desarrollos inmobiliarios. (Trigeorgis, 1993b; Damodaran, 2007; Domínguez, 2009). En la sección 4.6 se ofrece su adaptación a un proyecto inmobiliario.

La condición para que se dé es que en primer lugar se posea la opción de invertir. Hay pocas ocasiones en las que no sea posible aplazar esta inversión sin perder el derecho a ello, pero sí que puede ocurrir que se pierda esta capacidad, como por ejemplo cuando prescriben los derechos legales que los permiten, o por cambios en los gustos de los consumidores, o por adelantarse la competencia. El gerente de una empresa decidirá aplazar una inversión si al analizar en diferentes tiempos los costes y beneficios asociados con la misma, hay una fecha posterior a la actual en la que los resultados de la inversión son óptimos, y siempre que no haya expirado el derecho a hacerlo (Fuente, 1999).

La opción de aplazamiento es similar a una opción de compra sobre el valor actual de los flujos de caja esperados del proyecto, que sería el subyacente, con precio de ejercicio igual al coste de realizar el proyecto en la fecha de vencimiento de la opción. Tiene más valor si es exclusiva y va perdiendo valor cuando van desapareciendo las barreras de entrada a otros competidores, ya que mientras se mantienen, no se pierden ingresos por la espera (Kodukula y Papudesu, 2006; Retana, 2007).

Además Fuente (1999) indica que no hay unanimidad de criterio entre los diferentes estudios que se han hecho sobre la opción de aplazamiento, sobre cuál es su verdadero valor. Mientras que unos basan la ventaja de la opción de aplazamiento en que con el paso del tiempo se va despejando la incertidumbre por la llegada de nueva información a la empresa relativa a precios, demanda, comportamiento de la competencia, etc., otros creen que con el paso del tiempo, aunque llegue nueva información, aparecerán nuevas incertidumbres, pero sí que se conseguirá ejercer la inversión en el momento óptimo. También su valor proviene del carácter irreversible de muchos proyectos. Un proyecto es irreversible cuando su abandono conlleva grandes costes asociados, lo cual ocurre en la mayoría. Por ello es común que el valor de la opción de aplazar alcance el doble del valor de los recursos empleados en función del grado de irreversibilidad Pindyck (1986); Majd y Pindyck (1987).

Por lo tanto, el criterio de selección para una inversión con riesgo e irreversible, será aceptar un proyecto si su valor actual supera el de los recursos necesarios para su realización, es decir, los desembolsos presentes y futuros incluyendo el valor actual de la opción de aplazamiento, como así se expresó en la ecuación 2.10.

El valor de opción de aplazamiento debe considerarse como un desembolso más, ya que cuando se lleva a cabo un proyecto, la opción de abandono desaparece inmediatamente y es un coste de oportunidad. Por lo tanto, solo se realizará el proyecto si el Valor

### 3. LAS OPCIONES REALES

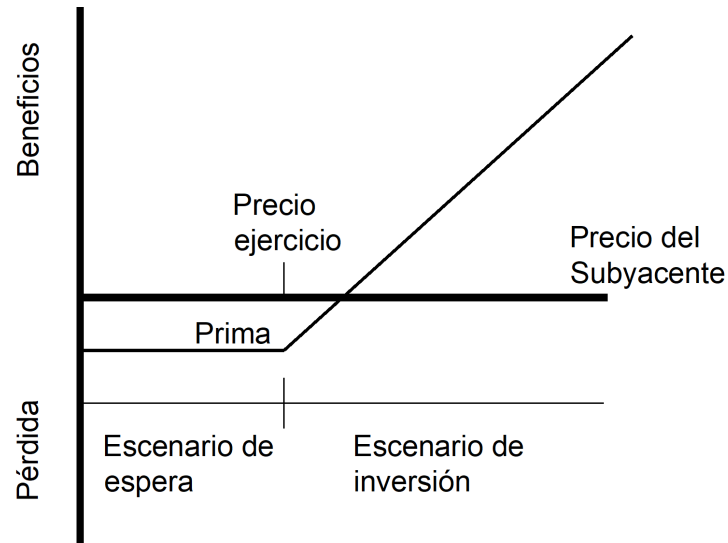


Figura 3.5.: Opción de aplazamiento (Mendiola *et al.*, 2014).

Actual Neto básico supera al valor de la opción de aplazamiento. (Dixit y Pindyck, 1995; Fuente, 1999; Mascareñas *et al.*, 2003).

En la figura 3.5 se muestra la similitud de la opción de aplazamiento con una opción de compra o *call*. En el caso de que se espere, porque el valor actual de los flujos de caja o precio del subyacente no supere el coste de la inversión, o *strike*, se perdería la prima o coste de la opción de aplazamiento, es decir, una situación *Out The Money*. Si supera el precio de *strike*, se entraría en una situación *In The Money* y se comenzaría a recuperar el precio de la prima y posteriormente se entraría en beneficios (Damodaran, 2007; Mendiola *et al.*, 2014).

Considerar a la opción de aplazamiento como un coste más es tan importante, que en un proyecto en el que su valor sea muy grande, al considerar que su coste debe ser cubierto con los beneficios esperados, puede conducir a que un proyecto que tuviera VAN positivo, pero el valor de la opción sea muy grande, no se lleve a cabo (Retana, 2007).

Por otra parte, hay gerentes que no tienen en cuenta los costes que conlleva el retraso en la realización de un proyecto. Estos costes son los flujos de caja que se dejan de ganar, más la pérdida de un año de protección frente a las acciones de la competencia (Retana, 2007; Castaño, 2008). La mayor parte de las opciones de aplazamiento son de tipo americano y tienen costes de retraso, por lo que el momento de la inversión se decidirá en función de los beneficios previstos y los costes por no invertir, pero siempre antes de que su valor temporal llegue a cero (Mascareñas *et al.*, 2003).

#### 3.2.1.1. Inversión

Resulta interesante la distinción que hace Fuente (1999) entre la opción de inversión (*to invest*) y la de aplazamiento, que la mayoría de otros autores no hacen. Indica que

### 3. LAS OPCIONES REALES

para que exista la opción de aplazamiento, en primer lugar debe existir la de inversión, definida como la opción pero no la obligación para una empresa de acometer un proyecto de inversión hasta, o antes, de una fecha predeterminada.

Indica también que las opciones de inversión también se denominan como estratégicas, y que dan el derecho a invertir en proyectos que son nuevos para la empresa, mientras que para que exista una opción de expansión, la empresa debe ya estar invertida.

El análisis matemático entre una opción de inversión y de aplazamiento es muy similar, por lo que en esta Tesis serán tratados de igual forma, aunque considerando lo expuesto en los párrafos anteriores.

#### 3.2.2. Expansión

Cuando una empresa afronta la oportunidad de realizar una inversión, en muchas ocasiones, aunque no siempre, la empresa dispondrá además de la opción de elegir si llevarla a cabo, también de la de elegir el tamaño del proyecto. Ciñéndonos al ámbito inmobiliario, hay proyectos que pueden hacerse por fases al tratarse de varios edificios, y otros que por su pequeño tamaño, solo se pueden hacer en una fase. Pero lo que realmente aporta valor tratando con opciones reales de expansión (*to expand*) es la posibilidad de ampliar un proyecto mientras se está ejecutando.

Una opción de expansión, también llamadas de ampliación o crecimiento, proporciona a su propietario el derecho a aumentar una parte del proyecto que está desarrollando a cambio de un coste adicional. Se equipara a una opción de compra o *call*. Los parámetros son los mismos que se han explicado en la sección 3.1.1, aplicados solo a la ampliación en estudio (Trigeorgis, 1993b; Retana, 2007).

Cuando un proyecto presenta posibilidades de expansión durante su desarrollo, al inicio los gerentes deberán tener en cuenta los distintos tamaños posibles en relación con la posibilidad de aplazar el análisis de dichas ampliaciones. Deberán comparar los beneficios de invertir al inicio todos los recursos, con los otros escenarios en diferentes momentos del tiempo. Si se invierte todo el capital al inicio es posible que se obtengan mayores beneficios por su rápida movilización, economías de escala, curvas de aprendizaje, pero si se pospone se pueden conseguir beneficios haciéndolo en mejores momentos y evitando posteriores capacidades productivas ociosas (Fuente, 1999).

Estas opciones son más apreciadas por las empresas con mayor riesgo económico y con mayores rendimientos que para las más estables. Por ejemplo, para empresas que hacen compras de tipo estratégico para entrar en otros mercados mediante compra de conocimiento tecnológico o marcas reconocidas, para inversiones en I+D o, como ya se ha adelantado, en proyectos por fases. En este último caso, se debe valorar que la competencia podría entrar con inversiones más fuertes, o los costes aumentar en el futuro, siendo entonces perjudicial su aplicación, por lo que no siempre es mejor desarrollar un proyecto por fases. También puede ser vista como una explicación de por qué las empresas mantienen liquidez, o mantienen su endeudamiento, preservando así la flexibilidad financiera (Damodaran, 2007; Mascareñas, 2007).

La gran ventaja de las opciones de expansión es que integra el análisis de la inversión de los fondos con la planificación estratégica de la empresa, ya que las inversiones

### 3. LAS OPCIONES REALES

de hoy son pasos, en ocasiones necesarios para las que se harán más adelante. No es fácil tomar decisiones sobre la ampliación de un proyecto. Si se ejerce la opción en el primer momento puede que a la larga haya un exceso de capacidad, pero si se hace más adelante, puede que no se tenga capacidad suficiente en el caso de un aumento rápido de la demanda (Hernández, 2002).

Los proyectos que se benefician de utilizar fases para su desarrollo son (Damodaran, 2007):

- Proyectos en mercados con barreras de entrada a la competencia. Se da cuando una empresa posee una patente o hay barreras legales contra la competencia. Permite comenzar con pequeña producción e ir aumentándola mientras se aprende del comportamiento del producto.
- Proyectos con gran incertidumbre acerca del tamaño del mercado y del éxito esperado. Trabajar por fases permite a la empresa reducir sus pérdidas en caso de que no funcione el producto y le permite aprender para aplicarlo a las siguientes fases.
- Proyectos donde se requiere una gran inversión en infraestructura. Está claro que cuanto más se tarde a poner el dinero en una inversión mejor, será para los resultados del propietario del capital.

Mascareñas *et al.* (2003) advierten sobre errores que se suelen cometer con las opciones de crecimiento. Muchas empresas tienden a sobrevalorarlas pensando que siempre son buenas las adquisiciones de empresas y el crecimiento y posteriormente se comprueba que no lo son. También en ocasiones se hace un mal uso de ellas duplicando su valor, ya que en el cálculo del VAN ampliado con la fórmula 2.10 se considera el valor de los flujos de caja procedentes de la ampliación dentro del cálculo del VAN básico y además se añade el valor de la opción de crecimiento, lo cual es erróneo. Damodaran (2007) también avisa de que el error más común es pensar que siempre son buenas, pero se debe comprobar que son exclusivas, ya que por ejemplo las adquisiciones para entrar en otros mercados, no cierra las puertas a la competencia.

En la figura 3.6 se muestra la similitud de la opción de expansión con una opción de compra o *call*. Si el valor actual de los flujos de caja o precio del subyacente no supera el coste de la inversión, o *strike*, se perdería la prima o coste de la opción de expansión, es decir, una situación *Out The Money*. Si supera el precio de *strike* se entraría en una situación *In The Money* y se comenzaría a recuperar el precio de la prima y posteriormente se entraría en beneficios (Damodaran, 2007).

#### 3.2.3. Abandono

La opción de abandono (*to abandon*), permite abandonar un proyecto cuando los flujos de caja no son los esperados. Si este escenario comienza a ocurrir, el gerente de la empresa deberá analizar cuál es el valor actual en ese momento de los flujos de caja que queda por recibir, y compararlo con el valor de liquidación. Si el valor de liquidación es mayor, se deberá abandonar el proyecto (Trigeorgis, 1993b; Damodaran, 2007).

### 3. LAS OPCIONES REALES

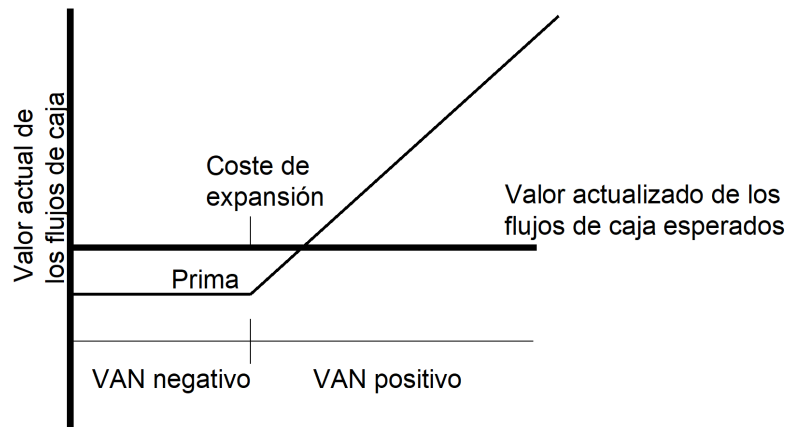


Figura 3.6.: Opción de expansión (Damodaran, 2007).

Aunque el planteamiento puede parecer muy sencillo, no es tan fácil en la vida real porque encontrar el valor de liquidación no es sencillo. En contadas ocasiones existe un contrato en el que venga especificada la cantidad a cobrar en caso de abandonar. Lo que suele ocurrir, por el contrario, es que se debe estimar, y este valor puede cambiar durante la vida del proyecto, y en muchas ocasiones todavía puede ser peor, ya que puede ser un valor negativo, por ejemplo porque haya que pagar indemnizaciones a los empleados. En esos casos se debería continuar a no ser que la opción de continuar ofrezca todavía flujos de caja más negativos (Mascareñas *et al.*, 2003; Damodaran, 2007).

Para poder contar con una opción de abandono que realmente sea rentable y aplicable, es necesario seguir estos consejos (Mascareñas *et al.*, 2003; Damodaran, 2007):

- Firma de cláusulas de escape. No es lo mismo un proyecto con gran infraestructura como una fábrica, que una empresa de servicios. Pero se pueden tomar medidas como la flexibilidad en los contratos, firmando con los empleados de tipo temporal y con los proveedores con alcance de un año, por ejemplo, en lugar de a largo plazo. También se puede alquilar la fábrica en lugar de construirla.
- Valorar los incentivos a clientes. En ocasiones se conceden a los clientes opciones de abandono sin valorarlas en su justa medida. Es común en tiempos de crecimiento económico y con el fin de conseguir aumentar el mercado, conceder a los clientes la opción de seguir con la compañía pagando un contrato anual y permitirles abandonarlos sin penalización. Esto hace que si llega una recesión económica, los clientes abandonen el contrato sin dudarlo disminuyendo drásticamente los ingresos. Este tipo de estrategias, en las que la opción de abandono es trasladada a los clientes, en general aporta más problemas que beneficios a largo plazo, aunque a corto son muy efectivas.



### 3. LAS OPCIONES REALES

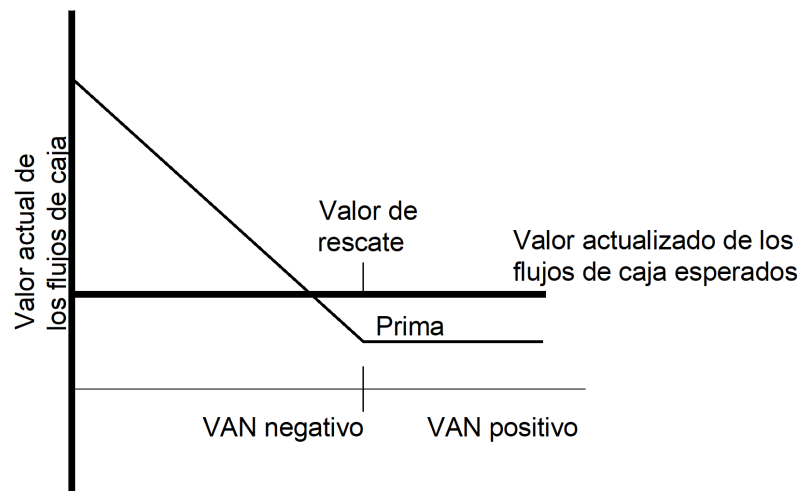


Figura 3.7.: Opción de abandono (Damodaran, 2007).

Hay proyectos en los que su liquidación es más sencilla que en otros. En concreto los intangibles son más difíciles de liquidar que los tangibles. También se debe tener en cuenta si existe un mercado de segunda mano líquido, si los equipos son de uso estándar, etc., ya que aumenta el valor de la opción de abandono en esos casos (Hernández, 2002).

En la figura 3.7 se muestra la similitud de la opción de abandono con una opción de venta o *put*. Si el valor actual de los flujos de caja o precio del subyacente supera el valor de liquidación, o *strike*, se perdería la prima o coste de la opción de abandono, es decir, una situación *Out The Money*. Si no supera el precio de *strike* se entraría en una situación *In The Money* y se comenzaría a recuperar el precio de la prima y posteriormente se entraría en beneficios (Damodaran, 2007).

El valor de una opción de abandono generalmente no se conoce al inicio del proyecto, sino que se va calculando conforme evoluciona el proyecto. Para calcular el valor de un proyecto se debe aplicar la fórmula 2.10. De dicha fórmula se deduce, lo que también indica el sentido común, que un proyecto con la opción de abandono siempre vale más que uno que no se pueda liquidar (Calle y Tamayo, 2009).

#### 3.2.4. Operativas y flexibilidad tecnológica

Los gerentes de una empresa tienen la posibilidad de modificar muchas variables de su producción acerca del funcionamiento de la explotación, limitadas por restricciones de tipo técnico. Por ejemplo, además de las opciones de ampliación o reducción de los recursos dedicados al proyecto, existen también las opciones de paralizar temporalmente los proyectos (*to abandon temporarily*), de acelerar o ralentizar su ritmo (*to reduce*), de intercambio de productos finales a producir o de intercambio de los factores empleados en el proceso productivo (*switching options*). Todas ellas tienen influencia en la flexibilidad de las inversiones empresariales e influyen en su valor (Fuente, 1999).

### 3. LAS OPCIONES REALES

En primer lugar se estudia la opción de abandono temporal, quizá la de más fácil análisis, y a continuación se agrupan el resto.

#### 3.2.4.1. Abandono temporal

Hay empresas en las que es posible detener las operaciones cuando los ingresos que obtienen por la operación son insuficientes para pagar los costes variables operativos más los costes de cierre y reapertura del proyecto, por lo que pueden parar temporalmente y pueden volver a producir cuando la situación cambia (Trigeorgis, 1993b; Calle y Tamayo, 2009).

El tipo de empresas que puede hacer esto son las de extracción de minerales, fabricantes de moda o bienes de consumo, etcétera. Para evitar cierres y reaperturas continuados se suelen poner filtros que deben ser superados para cambiar la situación. Por ejemplo, una vez paralizada la producción, será necesario que los ingresos superen en un determinado porcentaje a los gastos para poder volver a producir (Retana, 2007).

Las opciones de abandono temporal son opciones de compra de los ingresos de ese año, que serían el subyacente, y con precio de ejercicio o *strike*, los costes variables operativos (Mascareñas *et al.*, 2003).

#### 3.2.4.2. Reducir

Esta opción es similar a la de abandono temporal, pero con la característica de que la reducción es parcial. Proporciona el derecho a renunciar a una parte del proyecto obteniendo un ahorro con esa decisión, que sería el precio de ejercicio. Esta posibilidad de reducir las pérdidas se puede contemplar como una opción de venta sobre parte del proyecto inicialmente previsto, con precio de ejercicio igual a los ahorros potenciales (Trigeorgis, 1993b; Mascareñas *et al.*, 2003). Para poder crear esta opción es aconsejable diseñar el proyecto por módulos (Hernández, 2002).

El valor del proyecto siguiendo la fórmula 2.10 será igual al valor inicial más el valor aportado por la reducción, en el caso de que aporte valor positivo, si fuera negativo, no se restaría (Gracia, 2014).

Mascareñas *et al.* (2003) proporcionan dos ejemplos de uso de esta opción. Resulta útil en el caso de introducción de nuevos productos en mercados con incertidumbre, o también cuando se tiene que elegir entre dos tipos de fábricas diferentes, por ejemplo si una tiene mayor inversión inicial y menores costes de mantenimiento, y la otra menor inversión al inicio pero mayores costes de mantenimiento, se podría optar por la segunda fábrica, ya que si se posee esta opción se podría reducir la producción en caso de que aparecieran pérdidas en el proyecto.

#### 3.2.4.3. Operativas y flexibilidad tecnológica

Todas las empresas tratan de ser flexibles para adaptarse a los cambios en su entorno. Las empresas tratan de adaptarse a cambios en las materias primas, en los productos finales elaborados o en sus características derivadas de los cambios en los gustos de los

### 3. LAS OPCIONES REALES

consumidores, cambios en el ritmo de fabricación, en la localización de sus plantas de producción, en los avances de la informática, comunicaciones, etcétera, pero esta tarea es una de las más difíciles en la gestión de una empresa (Fuente, 1999).

McDonald y Siegel (1985) calculan el valor de un proyecto que permite a sus propietarios decidir en cada instante sobre si deben continuar en el caso de que los costes variables superen a los ingresos, interpretándolo como una cartera de opciones que vencen de forma sucesiva y continua durante la vida del proyecto. Una vez más, obtienen que una empresa que pueda variar su producción tiene más valor que una que deba continuar con la misma independientemente de las circunstancias.

Dentro de este grupo destaca la opción de intercambio que ofrece a los gerentes la posibilidad de cambiar el estado del proyecto a otro más favorable, pero para ello es necesario tener activos flexibles que puedan responder ante cambios de la demanda o de los costes (Castaño, 2008). La opción de intercambio equivale a una opción de compra y a una opción de venta. Reiniciar las operaciones tras haberlas detenido equivale a ejercer la opción de compra, mientras que detenerlas equivale a ejercer la de venta. El precio de ejercicio de las opciones equivale al coste de reiniciar a o detener las operaciones (Trigeorgis, 1993b; Hernández, 2002). Se debe destacar que el valor de las dos opciones juntas, o de más, si las hubiera, no es la suma del valor de cada una de ellas por separado, ya que hay interacciones entre ellas. Si no se tuviera esto en cuenta se sobrevaloraría el valor del proyecto, y se podrían tomar decisiones erróneas (Urzúa, 2004).

Trabajos de varios autores respecto a opciones operativas y flexibilidad tecnológica son recogidos por Fuente (1999), como los de Kulatilaka (1993) donde se tiene la posibilidad de cambiar de factores de producción, como por ejemplo el combustible utilizado, o la posibilidad de producir en diferentes países. La volatilidad derivada de los costes de los factores hace que aumente el valor medio de los resultados positivos, manteniendo constantes los negativos, por lo que el valor de la opción aumenta con la incertidumbre. También se observa que el valor de la flexibilidad disminuye con el aumento de los costes de ajuste. Pero también concluye que la utilidad final de las opciones de intercambio dependerá de la magnitud de los costes derivados del ajuste y de la rapidez de la sustitución, de modo que habrá un rango de variación de las variables analizadas en las que no sea beneficioso el cambio a corto plazo, rango que explicaría las decisiones o mejor dicho, la falta de toma de decisiones de una empresa y que no son entendidas por el observador externo.

#### 3.2.5. Aprendizaje

Una empresa tiene una opción de aprendizaje (*to learn*) cuando tiene la posibilidad de invertir con el objeto de conseguir información o aumentar su conocimiento en determinadas áreas de su campo de acción, como por ejemplo, reducir su desfase tecnológico en I+D, conocer la demanda real de un producto o la composición de un yacimiento, etc. En estos casos las empresas deben valorar si el coste de adquirir la información es menor que el valor de la información que se obtendrá (Mascareñas *et al.*, 2003; Castaño, 2008).

Aunque un aumento de la volatilidad aumenta el valor de las opciones reales, la

### 3. LAS OPCIONES REALES

presencia de incertidumbre en un proyecto puede disminuir su valor, así como el valor de las opciones. Es el caso por ejemplo de los proyectos petrolíferos, extrapolable también a otro tipo de proyectos como el inmobiliario, en los que la incertidumbre técnica acerca del tamaño del yacimiento, o del rendimiento en la extracción, puede conllevar a decisiones subóptimas de inversión, como por ejemplo en la capacidad de las instalaciones, que podrían llevar a la ejecución de opciones reales cuando lo mejor es no ejercerlas o viceversa (Romero *et al.*, 2005).

Mascareñas *et al.* (2003) indican que en ocasiones, una empresa puede tener varias opciones en su cartera, conocido en el lenguaje económico como opción arco iris, y que otras opciones pueden entrar en conflicto con ellas, por ejemplo, la opción de aprendizaje en la que hay que iniciar en parte el proyecto, podría interferir con la opción de diferir, por lo que el valor combinado de las opciones es inferior a la suma de cada una por separado. El valor de la opción de aprendizaje dependerá de la precisión de la información recibida con el aprendizaje y del impacto en la toma de decisiones que pueda tener. El precio de ejercicio será el coste de aprender.

Kodukula y Papudesu (2006) indican que las opciones de aprendizaje se pueden equiparar a las opciones compuestas, que se desarrollan en la sección siguiente. Para ellos hay dos tipos de aprendizaje, el pasivo, que corresponde a las opciones secuenciales, en las que primero se haría un test o un pequeño proyecto y si sale aceptable se seguiría con el siguiente; y el activo, que corresponde con las opciones paralelas en las que el test se va ejecutando simultáneamente al completo. Para ellos, a diferencia de los otros autores citados, las primeras, es decir con aprendizaje pasivo, no son realmente opciones de aprendizaje.

La prueba de mercado inicial realizada para eliminar la incertidumbre del mercado también puede llamarse una opción de aprendizaje. En este caso, la prueba de mercado es la primera opción secuencial y el lanzamiento del producto es la segunda. Las organizaciones a menudo no comprometen inversiones completas en proyectos grandes para aprovechar las opciones compuestas incorporadas en ellos. Las fases iniciales del proyecto se utilizan como las opciones predecesoras para fases posteriores del proyecto. Por ejemplo, no puede comenzar la construcción de una planta química hasta que el trabajo de diseño de ingeniería esté completo, lo cual no podrá comenzar hasta que se obtengan los permisos requeridos. La idea es velar por que la incertidumbre se aclare a medida que avanzan las fases del proyecto y se toman decisiones de seguir o no seguir en cada fase en consecuencia. Esto se considera aprendizaje pasivo, ya que no implica inversiones iniciales hechas exclusivamente para que la incertidumbre se borre. Por ello, estas opciones no se consideran opciones de aprendizaje. Por lo tanto, las opciones de aprendizaje no son diferentes tipos de opciones, sino que son parte de opciones compuestas que ayudan a despejar la incertidumbre a través del aprendizaje activo (Kodukula y Papudesu, 2006).

#### 3.2.6. Compuesta

Cuando se ejerce una opción es posible que además de cobrar la cantidad derivada de su ejecución, se genere una nueva opción, e incluso, que si se ejecuta esta última

### 3. LAS OPCIONES REALES

aparezca otra nueva. Es decir, en una empresa, la inversión en un proyecto puede generar la posibilidad de una nueva inversión. Corresponde con la estrategia de crecimiento conocida como inversiones secuenciales (Mascareñas *et al.*, 2003).

En muchos proyectos, sobre todo de investigación y desarrollo donde hay ampliación de capacidad, lanzamiento de nuevos servicios, etcétera, las inversiones se hacen en varias etapas, y los gerentes pueden decidir ampliar, reducir, mantener, o abandonar el proyecto después de cada fase, al obtener nueva información que resuelva la incertidumbre. Se trata de opciones compuestas en las que el ejercicio de una opción genera otra, con lo que el valor de una opción contiene el valor de otra opción. Una opción compuesta deriva su valor de otra opción, no del activo subyacente. La primera inversión crea el derecho pero no la obligación de hacer una segunda inversión, que a su vez le da la opción de hacer una tercera inversión, y así sucesivamente (Kodukula y Papudesu, 2006).

Hay dos tipos de opciones compuestas (*compound options*), las secuenciales (*sequential options*) o las simultáneas (*parallel options*), también conocidas como en paralelo. Las secuenciales son las explicadas hasta ahora, se tiene que ejercer una opción con el fin de crear otra, por ejemplo, se debe completar la fase de diseño de una fábrica antes de que pueda comenzar la construcción de esta. En una opción en paralelo, sin embargo, ambas opciones están disponibles al mismo tiempo. La vida de la opción independiente, o primera, es más larga o igual que la de la opción dependiente de la anterior. Por ejemplo, un canal de televisión puede estar construyendo la infraestructura para la transmisión digital y adquirir el espectro de transmisión requerido, al mismo tiempo, pero no puede completar las pruebas de la infraestructura sin la licencia de espectro. La adquisición de espectro, lo cual es una opción en sí misma, da a la emisora la opción de completar la infraestructura y poner en marcha el servicio de difusión digital. Para las opciones secuenciales y las compuestas, los cálculos de valoración son esencialmente los mismos a excepción de diferencias menores (Kodukula y Papudesu, 2006).

#### 3.2.7. Subcontratar

Kodukula y Papudesu (2006) definen la opción de subcontratar como una especialización de la opción de reducir (*to contract*) siendo una de las más importantes en muchas de las empresas inmersas en mercados muy competitivos o cambiantes, en los que si las condiciones cambian deben adaptarse rápidamente. Cuando mejoran las condiciones del mercado, muchas empresas aumentan su tamaño y cuando empeoran, se ven abocadas a despidos traumáticos u otras acciones, que pueden ser evitadas subcontratando muchas de sus actividades.

La opción de subcontratar es similar a una opción de venta, ya que su valor aumenta cuando disminuye el valor del activo subyacente.

#### 3.2.8. Barrera

Las opciones barrera (*barrier options*) son opciones donde la decisión de ejercerlas no depende solo del precio de ejercicio y del subyacente, sino también de un precio

### 3. LAS OPCIONES REALES

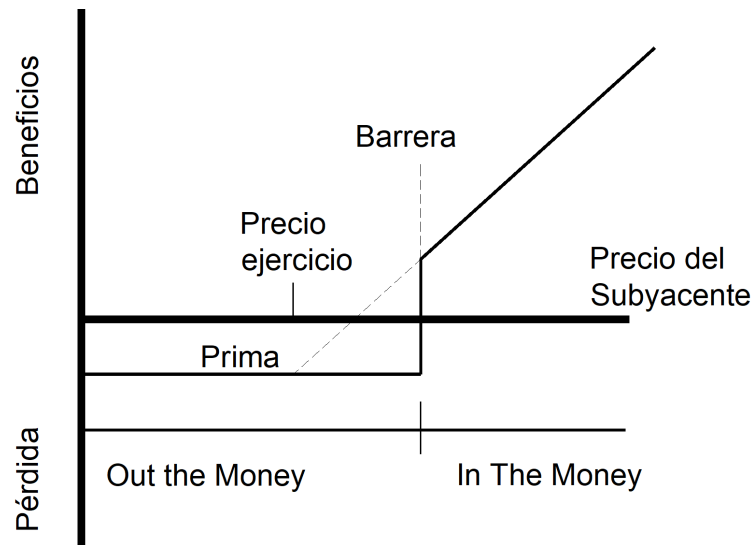


Figura 3.8.: Diagrama de pagos de opción *call* con barrera (Kodukula y Papudesu, 2006).

predefinido llamado barrera. Pueden ser tanto *call* como *put*, en opciones de esperar o abandonar respectivamente. La diferencia con las opciones tradicionales es que, una opción *call* (*put*) tradicional estará *In The Money* si el valor del subyacente supera por encima (debajo) el precio de ejercicio, mientras que en una barrera, deberá superar también el precio de barrera. Por supuesto, las opciones solo se ejercerán en el caso de que estén *In The Money*, es decir, superando el precio de barrera (Kodukula y Papudesu, 2006).

En la figura 3.8 se observa un gráfico de la opción *call* con barrera. El de la opción *put* sería análogo por lo que ha sido omitido.

La utilidad de estas opciones viene derivada de que los proyectos presentan cierta rigidez para la toma de decisiones. Por ejemplo, la decisión de abandonar un proyecto, que se supone que debe ser tomada cuando el precio del subyacente esté por debajo del precio de ejercicio, no es fácil de tomar ya que pudiera ser que el precio se diera la vuelta una vez abandonado el proyecto. Por eso se crea un margen de seguridad dado por la barrera. La colocación de una barrera se acerca más a las decisiones tomadas por los gerentes de las empresas que sin ellas. Lo mismo puede decirse de las opciones de esperar, en las que suele ponerse un margen o barrera, para comenzar a invertir (Kodukula y Papudesu, 2006).

#### 3.2.9. Arco Iris

Un parámetro clave en el análisis de opciones reales es la volatilidad que representa la incertidumbre asociada con el valor del activo subyacente. En general, se calcula como un factor agregado construido a partir de muchas de las incertidumbres que contribuyen a ella. Por ejemplo, la volatilidad agregada usada en análisis de un proyecto de desarrollo de productos incluiría la incertidumbre del precio por unidad, número de unidades

### 3. LAS OPCIONES REALES

vendidas, costes variables, etc. Pero si una de las fuentes de incertidumbre tiene un impacto significativo en el valor de las opciones en comparación con las otras, puede ser separada del resto. Cuando se consideran múltiples fuentes de incertidumbre, las opciones se denominan opciones de arco iris (*rainbow options*), y esto justifica el uso de diferentes factores de volatilidad, uno para cada fuente de incertidumbre, en los cálculos de opciones (Kodukula y Papudesu, 2006).

El método de cálculo es diferente que en el resto, como se verá en la sección 3.3, usando árboles cuadrinomiales en lugar de binomiales.

### 3.3. MÉTODOS DE VALORACIÓN DE LAS OPCIONES REALES

Desde la aparición de las opciones reales, han ido surgiendo diferentes métodos para su valoración, y todavía hoy se sigue investigando. Los métodos de valoración pueden ser agrupados en tres categorías. Se recogen a continuación, siendo preferible su uso según su orden de aparición (Mascareñas *et al.*, 2003):

1. Valoración mediante Ecuación Diferencial Parcial: Es el mejor método pero no siempre es utilizable. La fórmula más conocida es la aportada por Black y Scholes (1973) que les valió el premio Nobel, a Scholes y también a Merton que ayudó a perfeccionarla, aunque no a Black que ya había fallecido.
2. Valoración por programación dinámica. Es un método numérico y está basado en que los agentes toman decisiones óptimas en cada momento del tiempo. Un ejemplo de este método es el de árboles binomiales expuesto por Cox *et al.* (1979)
3. Valoración por simulación. En este método se generan las múltiples trayectorias posibles para las variables así como su valor esperado. Boyle *et al.* (1997) propusieron el método de Monte Carlo que se ha vuelto muy popular por su posibilidad de programación y cálculo con los modernos ordenadores. Otro método también incluido en este grupo es el de Longstaff y Schwartz (2001) de aproximación por mínimos cuadrados.

La mayoría de los modelos de valoración de opciones se basan en la valoración neutral al riesgo y la ausencia de arbitraje. La valoración neutral al riesgo se aplica cuando el precio de un activo depende del precio de un activo subyacente. Esto deriva en dos conclusiones muy importantes (Mascareñas *et al.*, 2003):

1. La rentabilidad esperada de todos los valores es el tipo de interés libre de riesgo.
2. Los flujos de caja futuros pueden valorarse descontando sus valores esperados al tipo de interés libre de riesgo.

Como se verá más adelante, estas conclusiones conllevan a que no es necesario saber cuál es la probabilidad de los precios de los activos subyacentes, solo es necesario saber los posibles precios y la probabilidad se calculará automáticamente.



### 3. LAS OPCIONES REALES

#### 3.3.1. Fórmula de Black - Scholes

La fórmula de Black - Scholes, pertenece a un grupo más amplio que se denomina Ecuaciones en Derivadas Parciales, pero dada su predominancia dentro del grupo se ha considerado más conveniente denominarlo por la fórmula más famosa y utilizada de las existentes. Como ya se ha explicado anteriormente, fue desarrollada en 1973 por Black y Scholes y supuso una revolución en el mundo de las finanzas.

Este método consiste en una ecuación en derivadas parciales con condiciones de contorno específicas como por ejemplo, el tipo de opción, los valores conocidos de la opción en extremos, etcétera, que describe los cambios en el valor de la opción respecto a cambios en ciertas variables del mercado. Lo realmente útil es encontrar una solución para estas ecuaciones en derivadas parciales que se plasme en una fórmula, como la de Black - Scholes. En el caso de que no se pueda obtener la fórmula, se puede llegar a conseguir la solución de las ecuaciones con aproximaciones numéricas por ordenador, con diferencias finitas, pero este método es complejo y difícil de manejar con múltiples fuentes de incertidumbre (Kodukula y Papudesu, 2006).

La fórmula de Black - Scholes se basa en varios supuestos sobre el mercado (Fuente, 1999; Palomares, 2010):

- El precio del activo subyacente sigue un movimiento browniano geométrico, con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , que son constantes, y  $dz$  un proceso de Wiener,  $dz = \varepsilon \cdot \sqrt{dt}$ , donde  $\varepsilon$  es una variable con distribución Normal de media cero y varianza uno, es decir:

$$\frac{dS}{S} = \mu \cdot dt + \sigma \cdot dz \quad (3.1)$$

- No hay restricciones sobre la venta en corto de activos financieros.
- No existen costes de transacción ni impuestos y los activos son perfectamente divisibles.
- El subyacente no paga dividendos durante la vida del activo, aunque también se ha desarrollado la fórmula para pago de dividendos.
- No hay oportunidades de arbitraje.
- La negociación de activos es continua.
- El tipo de interés sin riesgo  $r$  es constante e igual para todos los vencimientos.

De los anteriores supuestos, los más conflictivos para poder aplicar la fórmula de Black - Scholes a las opciones reales, son la tasa libre de riesgo constante y la volatilidad del activo subyacente conocida y constante, así como que no haya posibilidad de ejecución anticipada de la opción. En cuanto al pago de dividendos, ya se ha comentado que existen adaptaciones de la fórmula (Romero *et al.*, 2005).



### 3. LAS OPCIONES REALES

El movimiento browniano es el seguido por las partículas en Física cuando se estudia la transferencia de calor en el que las partículas se mueven aleatoriamente. El modelo de Black - Scholes es una adaptación del modelo físico (Retana, 2007).

En el modelo binomial que se desarrolla en la sección 3.3.2 se supone que entre los movimientos de precio pasa un intervalo de tiempo  $t$ . Cuando ese intervalo de tiempo se acerca a 0, la distribución de los precios puede tomar dos formas. Si los movimientos de precio son más pequeños, en el límite se obtiene la distribución Normal, y si permanecen grandes, se obtiene la distribución de Poisson. La fórmula de Black - Scholes asume que la distribución es Normal y los precios continuos. Pero es importante destacar que la distribución Normal admite valores negativos mientras que los precios de las acciones no pueden serlo nunca, por lo que la distribución en realidad debería ser la Lognormal, tomando la varianza de los logaritmos neperianos de los valores, en lugar de la de los valores directamente (Damodaran, 2007).

En la mayor parte de la bibliografía consultada aparece la solución de la ecuación pero no su desarrollo. Conocer cómo se obtiene es de capital importancia para posteriormente poder utilizarla convenientemente. En el artículo de Black y Scholes (1973) aparece explicado el procedimiento para su obtención, y en otros aparece su desarrollo a partir de derivadas parciales y del lema de Itô, como en Fuente (1999) y Balibrea (2011), por citar algunos, pero la demostración que aparece en el anexo del artículo de Fernández (2008) es más sencilla y didáctica, y es la que se aporta a continuación.

En primer lugar supone que el comportamiento de la rentabilidad de una acción subyacente en el tiempo sigue un proceso Normal y por lo tanto el precio será el de la ecuación 3.2, que es el mismo que la expuesta en la ecuación 3.1 sin diferenciar:

$$S_t = S \cdot e^{\mu \cdot t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{t}} \quad (3.2)$$

donde

$\mu$  = rentabilidad esperada por unidad de tiempo  $\mu = E [\ln (S_t / S)] / t$

$\sigma$  = volatilidad anual del subyacente en tanto por uno

$\varepsilon$  = variable aleatoria Normal de media cero y varianza uno

$S_t$  = Valor de la acción en el momento  $t$

Se debe precisar que si se utilizaran diferentes valores de  $\mu$  se obtendrían diferentes resultados, pero si se coincide en el valor estimado de  $\sigma$ , el valor deberá ser el mismo porque la opción debe ser replicable mediante acciones y bonos, y la rentabilidad esperada será la de estos activos financieros y no un valor personal estimado por el inversor, aunque tenga distintas expectativas que otros inversores.

Por lo tanto, por un lado el valor esperado del subyacente teniendo en cuenta las propiedades de la distribución Normal, y por otra, teniendo en cuenta que los valores se mueven sin riesgo, el valor esperado del precio de la opción será el resultado de invertir el precio de la opción a la tasa sin riesgo.

$$E(S_t) = S \cdot e^{(\mu + \sigma^2 / 2) \cdot t} = S \cdot r^t \quad (3.3)$$

donde

$r = 1 +$  tasa sin riesgo

### 3. LAS OPCIONES REALES

Despejando en la ecuación se obtiene la relación entre  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $r$ :

$$\mu = \ln(r) - \sigma^2/2 \quad (3.4)$$

Por otra parte, el valor de la opción de compra en  $t = 0$  por definición es el valor actual neto de los flujos futuros derivados de ella. Lo que es conocido es el dinero que recibirá el poseedor de la opción en la fecha de expiración, que para una opción *call* será:

$$C_T = \text{máx}(S_T - X, 0) \quad (3.5)$$

Según lo explicado en el párrafo anterior, se actualiza el valor de la opción en el momento de expiración:

$$\begin{aligned} C_{t=0} &= VAN[\text{máx}(S_T - X, 0)] = VAN[(S_T - X) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] + VAN[0] \cdot P[S_t \leq X] \\ &= VAN[(S_T) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] - VAN[(X) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] \end{aligned} \quad (3.6)$$

El valor actual neto de  $X$ , si  $S_t > X$ , será igual a su valor esperado actualizado a la tasa de descuento  $r$ . El valor de  $X$  es conocido, con lo que:

$$VAN[(X) \text{ si } S_T > X] = \frac{E[(X) \text{ si } S_T > X]}{r^t} = \frac{X}{r^t} \quad (3.7)$$

La probabilidad de que  $S_t > X$ , es decir, de que la opción se ejerza, se tendrá en cuenta la ecuación 3.2 por lo que:

$$P[S_t > X] = P[S \cdot e^{\mu \cdot t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{t}} > X] = P\left[\mu \cdot t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{t} > \ln\left(\frac{X}{S}\right)\right] = P\left[\varepsilon > -\frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \mu \cdot t}{\sigma \cdot \sqrt{t}}\right]$$

Como ya se ha indicado  $\varepsilon$  es una variable aleatoria Normal de media cero y varianza uno, que al ser simétrica:

$$P[S_t > X] = P\left[\varepsilon > -\frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \mu \cdot t}{\sigma \cdot \sqrt{t}}\right] = P\left[\varepsilon < \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \mu \cdot t}{\sigma \cdot \sqrt{t}}\right]$$

Sustituyendo la ecuación 3.4 se tiene:

$$P[S_t > X] = P\left[\varepsilon < \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \ln(r^t) - t \cdot \sigma^2/2}{\sigma \cdot \sqrt{t}}\right] \quad (3.8)$$

Pero como  $\varepsilon$  es una distribución Normal:

$$P[S_t > X] = N\left[\frac{\ln\left(\frac{S \cdot r^t}{X}\right) - t \cdot \sigma^2/2}{\sigma \cdot \sqrt{t}}\right] \quad (3.9)$$

Si se define  $d_1$  como:

### 3. LAS OPCIONES REALES

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0 r^t}{X}\right) + t \cdot \sigma^2 / 2}{\sigma \cdot \sqrt{t}} \quad (3.10)$$

$$P[S_t > X] = N\left[d_1 - \sigma \cdot \sqrt{t}\right] \quad (3.11)$$

Por lo que multiplicando con la ecuación 3.7 se obtiene:

$$VAN[(X) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] = \frac{X}{r^t} \cdot N\left[d_1 - \sigma \cdot \sqrt{t}\right] \quad (3.12)$$

Por otro lado, el valor actual neto de  $S_t$ , si  $S_t > X$ , será también igual a su valor esperado actualizado a la tasa de descuento  $r$ . Por lo que su valor multiplicado por su probabilidad será, teniendo en cuenta las ecuaciones 3.2, 3.11 y las de la distribución Normal para el cálculo de la probabilidad:

$$\begin{aligned} VAN[(S_T) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] &= r^{-t} \cdot E[(S_T) \text{ si } S_T > X] \cdot P[S_t > X] = \\ &= r^{-t} \cdot S_0 \cdot e^{\mu \cdot t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{t}} \cdot \int_{-d_1 + \sigma \cdot \sqrt{t}}^{\infty} \frac{e^{-\varepsilon^2 / 2}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot d\varepsilon = r^{-t} \cdot S_0 \cdot e^{\mu \cdot t} \cdot \int_{-d_1 + \sigma \cdot \sqrt{t}}^{\infty} \frac{e^{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{t} - \varepsilon^2 / 2}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot d\varepsilon = \\ &= r^{-t} \cdot S_0 \cdot e^{(\mu + \sigma^2 / 2) \cdot t} \cdot \int_{-d_1 + \sigma \cdot \sqrt{t}}^{\infty} \frac{e^{-((\sigma \cdot \sqrt{t} - \varepsilon) / 2)^2}}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot d\varepsilon \end{aligned}$$

Esta ecuación se resuelve con un cambio de variable como  $v = \sigma \cdot \sqrt{t} - \varepsilon$   $dv = -d\varepsilon$  cuyos valores para  $S_t = X$ ;  $\varepsilon = -d_1 + \sigma \cdot \sqrt{t}$   $v = d_1$  y para  $S_t = \infty$ ;  $\varepsilon = \infty$   $v = -\infty$

Con lo que la ecuación se transforma en:

$$= r^{-t} \cdot S_0 \cdot e^{(\mu + \sigma^2 / 2) \cdot t} \cdot N(\eta)$$

Si se tiene en cuenta la ecuación 3.3:

$$VAN[(S_T) \text{ s.a. } S_T > X] \cdot P[S_t > X] = r^{-t} \cdot r^t \cdot S_0 \cdot N(d_1) = S_0 \cdot N(d_1)$$

Por lo tanto, la fórmula de Black - Scholes para una opción *call*, se ofrece en la ecuación 3.13 (Fernández, 2008):

$$C = N(d_1) \cdot S_0 - N(d_2) \cdot X \cdot r^{-t}$$

que para el tipo de interés continuo se convierte en:

$$C = N(d_1) \cdot S_0 - N(d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot t} \quad (3.13)$$

siendo  $d_1$  y  $d_2$ :

### 3. LAS OPCIONES REALES

Posición	Pagos en T si $S > X$	Pagos en T si $S < X$
Venta de una <i>call</i>	$-(S - X)$	0
Compra de una <i>put</i>	0	$X - S$
Compra de una acción	S	S
Total	X	X

Tabla 3.4.: Relación *put-call* (Damodaran, 2007)

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + t \cdot \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma \cdot \sqrt{t}} \quad (3.14)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{t} \quad (3.15)$$

donde:

C = valor de la opción *call*.

$S_0$  = valor actual del subyacente

X = precio de ejercicio

r = tasa de interés sin riesgo

t = tiempo hasta la expiración

$\sigma$  = volatilidad

$N(d_1)$  y  $N(d_2)$  es el valor de la distribución Normal en  $d_1$  y  $d_2$ .

Todos estos valores, excepto la volatilidad, son sencillos de obtener, como se explica en la sección 3.3.6.

El aporte más importante de la fórmula es que es neutral al riesgo, ya que no incluye ninguna variable que tenga relación con la actitud frente al riesgo del inversor (Otero *et al.*, 2008).

Como ya se ha adelantado se puede construir una cartera replicante de la opción *call*, comprando  $N(d_1)$  acciones con el dinero del segundo sumando de la fórmula 3.13 obtenido de un préstamo (Damodaran, 2007).

Para obtener el valor de una opción *put*, se puede utilizar la relación *put-call* que parte del análisis de dos opciones, una *put* y otra *call* con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento (Damodaran, 2007). Se crea una cartera en la que se vende una *call* y se compra una *put*. También se compran acciones al precio actual. En la tabla 3.4 se pueden ver los pagos y cobros para el poseedor de la cartera.

Como el cobro de X será cierto, su valor en el momento actual se debe calcular con la tasa de interés sin riesgo, y el valor de la cartera será:

$$S_t + P - C = X \cdot e^{-r \cdot t}$$

$$P = C + X \cdot e^{-r \cdot t} - S_t \quad (3.16)$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

$$P = -N(-d_1) \cdot S_0 + N(-d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot t} \quad (3.17)$$

En las anteriores ecuaciones no hay pago de dividendos, pero como se ha explicado en la sección 3.1.1, en el estudio de las opciones reales se tiene en cuenta el pago de dividendos, por lo que sería interesante poder incluirlos. Por ello se incluyen suponiendo que hay una reducción del precio esperado de la acción. En las siguientes ecuaciones se plantea la reducción de precio en el caso de dividendos puntuales  $D$ , o dividendos continuos con rentabilidad de estos sobre el valor de la acción  $q$  (Palomares, 2010):

$$S = S_0 - \sum_j (D_j \cdot e^{-r \cdot t_j}) \quad (3.18)$$

$$S = S_0 \cdot e^{-q \cdot t} \quad (3.19)$$

El precio de la opción *call* y *put*, sería entonces el resultado de sustituir en las ecuaciones 3.13 y 3.17 la expresión anterior del precio de  $S$ , por la de  $S_0$ :

$$C = N(d_1) \cdot S_0 \cdot e^{-q \cdot t} - N(d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot t} \quad (3.20)$$

siendo  $d_1$  y  $d_2$ :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + t \cdot \left(r - q + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma \cdot \sqrt{t}} \quad (3.21)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{t} \quad (3.22)$$

El ajuste por dividendos tiene dos efectos. Por una parte, el valor del activo disminuye al tener en cuenta la caída del precio de las acciones por el pago del dividendo y por otra, la tasa de interés se compensa con la rentabilidad por dividendo reduciendo el coste de mantener las acciones en la cartera replicante. El efecto neto será una reducción del valor de las *call* y un incremento en el de las *put* (Damodaran, 2007).

Como se ha comentado en puntos anteriores, otro punto a destacar es que la fórmula original se calcula para opciones europeas, es decir, que solo pueden ejecutarse en el vencimiento, mientras que la mayor parte de las opciones que se utilizan son americanas, las cuales se pueden ejercer en cualquier momento. Como primera aproximación al problema, está claro que una opción americana siempre tiene más valor que la europea por su flexibilidad. Damodaran (2007) propone tres formas de abordar la modificación de la fórmula.

La primera es muy básica y es tomar el valor de la fórmula sin ajustar como un suelo o como un valor conservador del valor real, lo cual para determinados casos puede ser suficiente.

La segunda, también sencilla, es valorar la opción en varios días potenciales de ejercicio, y sobre todo en opciones sobre acciones en aquellos días en los que cotizarán exdividendo, para finalmente escoger los valores máximos.

### 3. LAS OPCIONES REALES

La tercera sería utilizar una variación del modelo binomial que se explicará en la sección 3.3.2. Esta forma consiste en que una vez calculados los precios posibles según el método binomial para el subyacente en un periodo determinado, se aplicaría la fórmula de Black - Scholes con los precios del subyacente obtenido.

Otros aspectos que valora Damodaran (2007), pero que aunque se alejan del objetivo de esta Tesis quizá en determinadas ocasiones pueden ser de aplicación, son los efectos sobre el precio del subyacente del ejercicio de la opción. Al ejercer una opción emitida por una compañía esta se verá obligada a la emisión de mayor número de acciones, lo que hace que el valor de la acción se diluya. Sin entrar en detalle, el ajuste de la fórmula de Black - Scholes es sencillo, ya que consiste en sustituir el precio del subyacente por el resultado de la dilución del precio.

#### 3.3.2. Método Binomial

El método binomial es uno de los más utilizados para el cálculo de opciones por su relativa sencillez para programarlo y resolverlo mediante ordenador. Copeland y Antikarov (2001) como citan Pardo *et al.* (2004) indican que para utilizar el método binomial se pueden seguir dos vías, la de probabilidades neutrales al riesgo, en donde se ajusta el riesgo de cada flujo de fondos en cada momento y así se puede utilizar la tasa libre de riesgo, o replicando carteras del mercado, que ofrece los mismos resultados que el anterior pero es más complejo.

En su libro, Mun (2002) indica que los resultados obtenidos mediante el método binomial son muy parecidos a los obtenidos mediante la fórmula de Black - Scholes, pero la facilidad de la comprensión del método binomial hace que sea el elegido por muchos de los gerentes como su método de cálculo.

Para la utilización del método primero se debe elegir el número de pasos que se quieren calcular. Cuantos más pasos más precisión, pero esto puede conducir a un aumento del tiempo de cálculo enorme. En la imagen 3.9 se puede comprobar como aumentan el número de nodos por cada paso de tiempo.

Si se eligieran 1000 pasos de tiempo se necesitarían 501.501 nodos, a los que se debe añadir que si se calculan muchos escenarios el problema aumenta exponencialmente. El problema todavía es peor si el árbol no es recombinante, como el de la figura 3.10 en el que no se comparten nodos, y para 1000 pasos se tendrán  $2^{1000}$  nodos, que aproximadamente suponen  $2 \cdot 10^{301}$  nodos, lo que puede llevar semanas calcular por un ordenador. Afortunadamente los árboles sin recombinación en el límite suelen tender al mismo resultado que los de con recombinación, por lo que solo en algunos casos concretos suele ser necesario calcular sin recombinación (Mun, 2002).

Muchos autores han escrito sobre el modelo binomial, pero la mayoría siguen el artículo de Cox *et al.* (1979) que sigue totalmente vigente por su sencillez explicativa y es el que se seguirá en esta sección. Ellos en primer lugar exponen un ejemplo que permite comprender fácilmente la idea.

Se supone que una acción actualmente tiene un precio de 50 € y que al final de un periodo de tiempo pueden darse dos escenarios, que doble su precio, 100 €, o que lo

### 3. LAS OPCIONES REALES

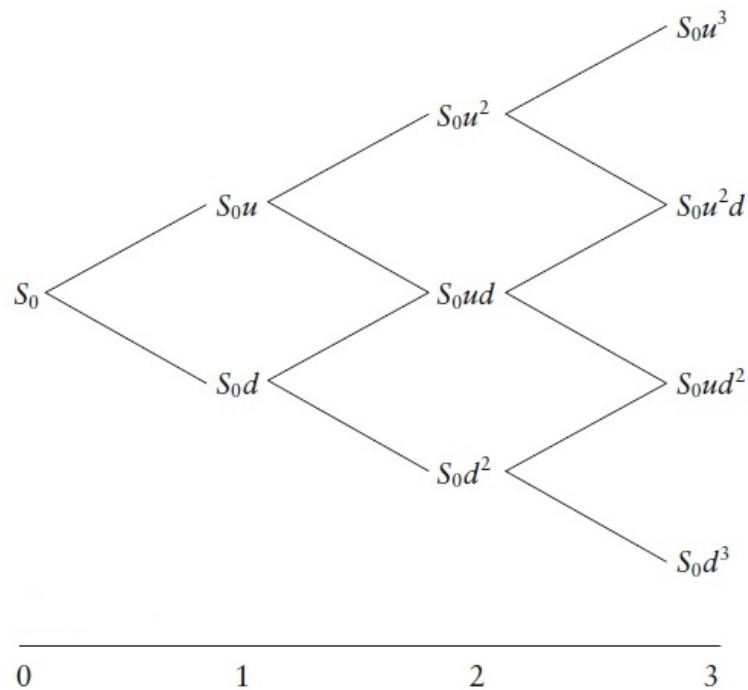


Figura 3.9.: Árbol binomial de tres pasos con recombinación. (Mun, 2002)

disminuya a la mitad, 25 €. Si los tipos de interés estuvieran al 25% <sup>1</sup> se podría pedir prestado dinero y por último, se supone también que existen opciones *call* con precio de ejercicio al final del periodo de 50 €. Si no se pueden obtener beneficios por arbitraje, y no hay costes de transacción, impuestos ni márgenes, se puede deducir el valor de la opción *call*.

Por ejemplo si se considera una cartera de cobertura, en la que se venden 3 *calls* con precio  $C$ , se compran dos acciones a 50 € y se piden prestados 40 €, los escenarios posibles son los de la tabla 3.5.

Para que no existan beneficios por arbitraje la suma de la primera columna también tiene que ser cero:

$$3 \cdot C - 100 + 40 = 0$$

Por lo que el valor actual de la *call* tiene que ser 20 €. Si no fuera así, en el caso de que fuera más alto se tendrían pérdidas seguras, y todavía mejor, en el caso de que fuera más bajo beneficios seguros, lo cual no es posible porque entraría en acción el arbitraje. La conclusión que se obtiene es que para determinar el precio de la *call*, solo se necesita el precio de ejercicio, el precio de la acción subyacente, el rango de movimiento

<sup>1</sup>Curioso observar qué tipos de interés se utilizaban en 1979 para elaborar los ejemplos. Tipos inimaginables en 2016, negativos en muchos de los periodos de la curva.

### 3. LAS OPCIONES REALES

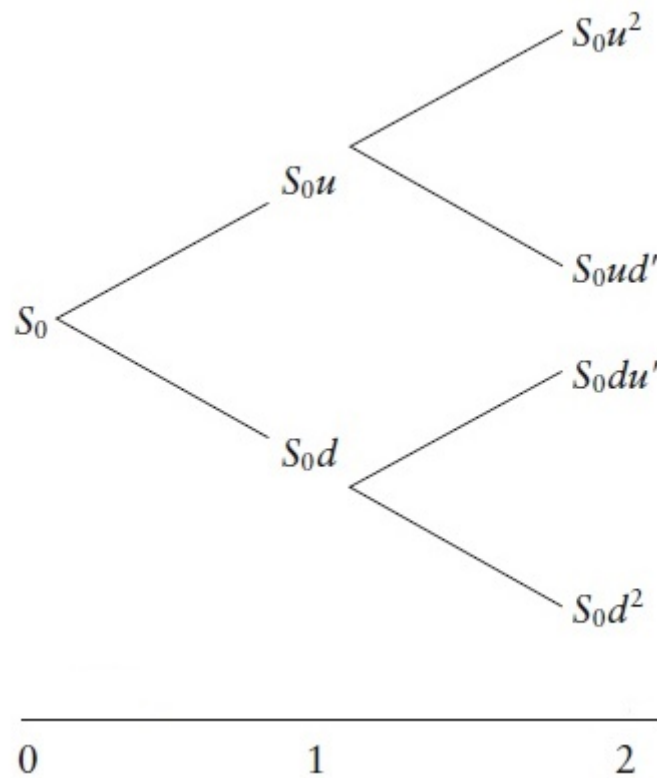


Figura 3.10.: Árbol binomial de dos pasos sin recombinación (Mun, 2002)

	Actualidad	S = 25 €	S = 100 €
Venta de 3 <i>calls</i>	+ 3C	-	-150
Compra de 2 Acciones	- 100	+50	+ 200
Préstamo	+ 40	- 50	- 50
TOTAL	0	0	0

Tabla 3.5.: Retornos en precio en la fecha de expiración (Cox *et al.*, 1979)



### 3. LAS OPCIONES REALES

de dicha acción y el tipo de interés. Y lo que es más importante, no se necesita saber la probabilidad de subida o de bajada.

Siguiendo con el artículo de [Cox et al. \(1979\)](#) el método binomial consiste en que el precio de las acciones seguirá un proceso multiplicativo binomial sobre periodos de tiempo discretos. En la figura 3.9 se observa que en el primer periodo el precio inicial de la acción puede tener dos valores,  $u \cdot S_0$  con probabilidad  $q$ , o  $d \cdot S_0$  con probabilidad  $1 - q$ . En este modelo se supone que no hay costes de transacción, impuestos, ni márgenes, que es posible comprar y vender en descubierto, las acciones son divisibles y se puede prestar o tomar dinero al mismo tipo de interés.

Para que no haya arbitraje, y si se denomina como  $r$  al tipo de interés, se tiene que dar la siguiente relación  $u > (1 + r) > d$ , ya que en otro caso habría oportunidades de arbitraje, y o bien siempre se ganaría dinero y se pediría dinero prestado para comprar acciones, o siempre se perdería y las acciones bajarían de precio hasta que se cumpliera la relación.

Desarrollando más el ejemplo anterior, la opción tipo *call* que se ha emitido, si expirara en el primer periodo, con precio de ejercicio  $X$ , el precio para cada una de las dos situaciones supuestas anteriormente sería:

$$\begin{aligned} C_u &= \text{máx} [u \cdot S_0 - X, 0] \text{ con probabilidad } q \\ C_d &= \text{máx} [d \cdot S_0 - X, 0] \text{ con probabilidad } 1 - q \end{aligned} \quad (3.23)$$

A continuación se va a crear una cartera con  $\Delta$  acciones y con  $B$  euros invertidos en bonos sin riesgo<sup>2</sup> y vendiendo una opción *call*, es decir la cantidad  $\Delta S + B$ , por lo que al final del periodo se tendrá el siguiente valor en la cartera:

$$\begin{aligned} \Delta \cdot u \cdot S_0 + (1 + r) \cdot B &\text{ con probabilidad } q \\ \Delta \cdot d \cdot S_0 + (1 + r) \cdot B &\text{ con probabilidad } 1 - q \end{aligned}$$

Si se quiere igualar el valor de la cartera a su equivalente en opciones *call*, lo que equivaldría a vender una opción:

$$\begin{aligned} C_u &= \Delta \cdot u \cdot S_0 + (1 + r) \cdot B \\ C_d &= \Delta \cdot d \cdot S_0 + (1 + r) \cdot B \end{aligned}$$

Y despejando las cantidades a invertir tanto en acciones como en bonos:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{(u - d) \cdot S} \quad B = \frac{u \cdot C_d - d \cdot C_u}{(u - d) \cdot (1 + r)} \quad (3.24)$$

Para que no haya oportunidades de arbitraje, como ya se ha explicado anteriormente, el valor actual de la opción *call* debe ser el mismo que el de la cartera, por lo que:

$$C = \Delta \cdot S + B = \frac{C_u - C_d}{(u - d)} + \frac{u \cdot C_d - d \cdot C_u}{(u - d) \cdot (1 + r)} = \frac{\left[ \left( \frac{(1+r)-d}{u-d} \right) \cdot C_u + \left( \frac{u-(1+r)}{u-d} \right) \cdot C_d \right]}{(1 + r)}$$

<sup>2</sup>[Mascareñas et al. \(2003\)](#) hacen la demostración tomando un préstamo en lugar de prestando, pero el desarrollo es el mismo y solo cambia el signo del resultado de  $B$

### 3. LAS OPCIONES REALES

Si se cambia la expresión anterior con:

$$p = \frac{(1+r) - d}{u - d} \quad 1 - p = \frac{u - (1+r)}{u - d} \quad (3.25)$$

se obtiene:

$$C = [p \cdot C_u + (1 - p) \cdot C_d] / (1 + r) \quad (3.26)$$

Para opciones de venta la ecuación es la misma (Berggrun, 2011):

$$P = [p \cdot P_u + (1 - p) \cdot P_d] / (1 + r) \quad (3.27)$$

Cox *et al.* (1979) indicaban que esta fórmula solo es aplicable si el tipo de interés es positivo, y despreciaban la posibilidad de que fuera negativo o cero, lo cual en el año 2016 es habitual por las políticas de los bancos centrales.

La fórmula tiene las siguientes características:

- Desaparece la probabilidad  $q$  de la fórmula. Esto significa que pese a que diferentes inversores tengan distintas expectativas sobre la probabilidad, el valor será el mismo.
- Independientemente de la aversión al riesgo de los participantes en el mercado, el valor de la *call* será el mismo. Por lo tanto se puede asumir que el comportamiento del inversor puede ser el de uno neutral al riesgo.
- El valor de la opción solo depende de la evolución de precios del subyacente y no del riesgo de mercado o de la evolución de otras variables.

Finalmente, al poder valorar el comportamiento de los inversores como si fueran neutrales al riesgo, la esperanza del retorno de los rendimientos de los inversores en acciones debería ser la misma que la de un inversor que invirtiera en bonos, por lo que:

$$q \cdot (u \cdot S) + (1 - q) \cdot (d \cdot S) = (1 + r) \cdot S \quad (3.28)$$

y despejando  $q$ , y utilizando la fórmula 3.25 se obtiene:

$$q = \frac{(1+r) - d}{u - d} = p \quad (3.29)$$

Pero generalmente el cálculo de las opciones no se hace solo para un periodo, sino para varios. Si el modelo anterior se pasa a dos periodos, y siguiendo la figura 3.9, se define  $C_{uu}$  como el valor de una *call* que en el primer periodo ha tenido un movimiento hacia arriba (*up*) y el segundo un movimiento también hacia arriba,  $C_{du}$  como el valor de una *call* que en el primer periodo ha tenido un movimiento hacia abajo (*down*) y el segundo un movimiento hacia arriba, etcétera. Por lo tanto siguiendo la ecuación 3.26, se tiene:

$$\begin{aligned} C_u &= [p \cdot C_{uu} + (1 - p) \cdot C_{ud}] / (1 + r) \\ C_d &= [p \cdot C_{du} + (1 - p) \cdot C_{dd}] / (1 + r) \end{aligned}$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

Se vuelve a hacer el mismo procedimiento en el que se crea una cartera con  $\Delta$  acciones y con  $B$  euros invertidos en bonos sin riesgo y finalmente se obtiene que la ecuación 3.26 se transforma en:

$$C = \left[ p^2 \cdot C_{uu} + 2 \cdot p \cdot (1-p) \cdot C_{ud} + (1-p)^2 \cdot C_{dd} \right] / (1+r)^2 \quad (3.30)$$

que utilizando la ecuación 3.23 se transforma en:

$$C = \frac{\left[ p^2 \cdot \max [u^2 \cdot S_0 - X, 0] + 2 \cdot p \cdot (1-p) \cdot \max [d \cdot u \cdot S_0 - X, 0] + (1-p)^2 \cdot \max [d^2 \cdot S_0 - X, 0] \right]}{(1+r)^2} \quad (3.31)$$

La fórmula se puede extender a  $n$  periodos fácilmente de forma recursiva, obteniendo:

$$C = \left[ \sum_{j=0}^n \left( \frac{n!}{j! \cdot (n-j)!} \right) \cdot p^j \cdot (1-p)^{n-j} \cdot \max [u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X, 0] \right] / (1+r)^n \quad (3.32)$$

Aunque con esta fórmula ya se puede calcular el precio de la *call*, *Cox et al. (1979)* siguen adelante con el fin de simplificarla y así mejorar el tiempo de cálculo. Definen  $a$  como el mínimo número de periodos hacia arriba que debe hacer la acción dentro de los  $n$  periodos para que la *call* entre *In The Money*. Por lo tanto  $a$  debe ser el entero no negativo más pequeño tal que  $u^a \cdot d^{n-a} \cdot S > X$ . Tomando logaritmos a ambos lados  $a$  sería el menor entero no negativo tal que:

$$a > \frac{\ln \frac{X}{S \cdot d^n}}{\ln \frac{u}{d}}$$

Se tiene por tanto que para todo  $j < a$ :

$$\max [u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X, 0] = 0$$

y para todo  $j \geq a$ :

$$\max [u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X, 0] = u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X$$

Por lo que la ecuación 3.32 se transforma en:

$$C = \left[ \sum_{j=a}^n \left( \frac{n!}{j! \cdot (n-j)!} \right) \cdot p^j \cdot (1-p)^{n-j} \cdot (u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X) \right] / (1+r)^n \quad (3.33)$$

Por supuesto si  $a > n$  la opción terminaría *Out The Money*, aunque todos sus movimientos hayan sido hacia arriba. Separando la ecuación en dos sumandos:

$$C = S \cdot \left[ \sum_{j=a}^n \left( \frac{n!}{j! \cdot (n-j)!} \right) \cdot p^j \cdot (1-p)^{n-j} \cdot \frac{u^j \cdot d^{n-j}}{(1+r)^n} \right] - \dots$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

$$\dots - \frac{X}{(1+r)^n} \cdot \left[ \sum_{j=a}^n \left( \frac{n!}{j! \cdot (n-j)!} \right) \cdot p^j \cdot (1-p)^{n-j} \right]$$

El corchete del segundo sumando es la distribución Normal complementaria  $\phi [a; n, p]$  y el primero sería también una distribución Binomial complementaria pero  $\phi [a; n, p']$ , siendo  $p' = (u/r) \cdot p$  y  $1 - p' = (d/r) \cdot (1 - p)$  por lo que la fórmula 3.33 se transforma en:

$$C = S \cdot \phi [a; n, p'] - \frac{X}{(1+r)^n} \cdot \phi [a; n, p] \quad (3.34)$$

donde  $p$  está definido en la ecuación 3.25 y  $p'$  y  $a$  han sido definidos en los anteriores párrafos.

En el artículo de Berggrun (2011) se explica de forma detallada el paso de tiempo discreto a tiempo continuo, es decir cuando el número de periodos tiende a infinito. La duración del periodo sería:

$$\delta t = \frac{T}{n}$$

Como se puede comprobar, si el número de periodos crece,  $\delta t$  tiende a cero. En tiempo continuo el crecimiento del dinero se mide con la expresión  $M = C \cdot e^{\hat{r}t}$  siendo  $\hat{r}$  el tipo de interés libre de riesgo compuesto de manera continua, cuyo cálculo a partir del simple se efectúa de la siguiente manera:

$$e^{\hat{r}} = 1 + r \Rightarrow \hat{r} = \ln(1 + r)$$

En un periodo de tiempo muy pequeño y en un ambiente neutral al riesgo la ecuación 3.28 se transforma en:

$$q \cdot (u \cdot S) + (1 - q) \cdot (d \cdot S) = e^{\hat{r} \cdot \delta t} \cdot S \quad (3.35)$$

y eliminando  $S$  se obtiene:

$$q \cdot u + (1 - q) \cdot d = e^{\hat{r} \cdot \delta t} \quad (3.36)$$

de donde despejando  $q$  se obtiene:

$$q = \frac{e^{\hat{r} \cdot \delta t} - d}{u - d} = p \quad (3.37)$$

Mascareñas (2007) explica también el proceso para pasar de la distribución Binomial a la Normal Logarítmica. La medida del rendimiento del activo debe hacerse según el logaritmo de los precios, ya que si por ejemplo una acción pasa de valer 100 a 120 gana un 20%, pero si luego pasa a 100, pierde un 16,66%. En cambio con logaritmos, sería en el primer caso  $\text{Ln}(120/100) = 18,23\%$  y  $\text{Ln}(100/120) = -18,23\%$ .

### 3. LAS OPCIONES REALES

Igualando la media y la varianza de  $e^{\hat{r}\cdot\delta t}$  con las de una distribución Normal Logarítmica se obtiene que la tasa esperada de retorno será  $\mu\cdot\delta t$  y la varianza  $\sigma^2\cdot\delta t$ . Utilizando la propiedad de la varianza de una variable aleatoria  $X$  (Berggrun, 2011):

$$\text{var}(X^2) - \text{var}(X)^2 = E(X^2) - E(X)^2$$

$$\sigma^2\cdot\delta t = q\cdot u^2 + (1-q)\cdot d^2 - (q\cdot u + (1-q)\cdot d)^2$$

Sustituyendo el valor de  $q$ :

$$\sigma^2\cdot\delta t = -\left(e^{\hat{r}\cdot\delta t} - d\right) \cdot \left(e^{\hat{r}\cdot\delta t} - u\right)$$

$$\sigma^2\cdot\delta t = e^{\hat{r}\cdot\delta t} \cdot (u + d) - u\cdot d - e^{2\cdot\hat{r}\cdot\delta t} \quad (3.38)$$

Si suponemos que  $d$  es la inversa de  $u$  de manera que sean consistentes en magnitud y proporcionados los movimientos y además para obtener una distribución simétrica (Mun, 2002):

$$u = e^{\sigma\cdot\sqrt{\delta t}} \quad d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma\cdot\sqrt{\delta t}} \quad (3.39)$$

Estos valores cumplen con la ecuación 3.38 como se puede comprobar aproximando los valores con el polinomio de Taylor, despreciando términos superiores a  $\delta t$ :

$$e^{\hat{r}\cdot\delta t} \approx 1 + \hat{r}\cdot\delta t$$

$$e^{2\cdot\hat{r}\cdot\delta t} \approx 1 + 2\cdot\hat{r}\cdot\delta t$$

$$u = e^{\sigma\cdot\sqrt{\delta t}} \approx 1 + \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t$$

$$d = e^{-\sigma\cdot\sqrt{\delta t}} \approx 1 - \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t$$

$$\begin{aligned} \sigma^2\cdot\delta t &= (1 + \hat{r}\cdot\delta t) \cdot \left(1 + \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t + 1 - \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t\right) - \dots \\ &\dots - \left(1 + \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t\right) \cdot \left(1 - \sigma\cdot\sqrt{\delta t} + \frac{1}{2}\cdot\sigma^2\cdot\delta t\right) - (1 + 2\cdot\hat{r}\cdot\delta t) \end{aligned}$$

$$\sigma^2\cdot\delta t = (1 + \hat{r}\cdot\delta t) \cdot (2 + \sigma^2\cdot\delta t) - 1 + \frac{1}{4}\cdot\sigma^4\cdot\delta t^2 - 1 - 2\cdot\hat{r}\cdot\delta t$$

$$\sigma^2\cdot\delta t = \sigma^2\cdot\delta t + \sigma^2\cdot\hat{r}\cdot\delta t^2 + \frac{1}{4}\cdot\sigma^4\cdot\delta t^2$$

Y si se omiten los términos superiores a  $\delta t$  se obtiene la respuesta buscada:

La probabilidad neutral al riesgo sería según la fórmula 3.37 (Mun, 2002; Kodukula y Papudesu, 2006):

### 3. LAS OPCIONES REALES

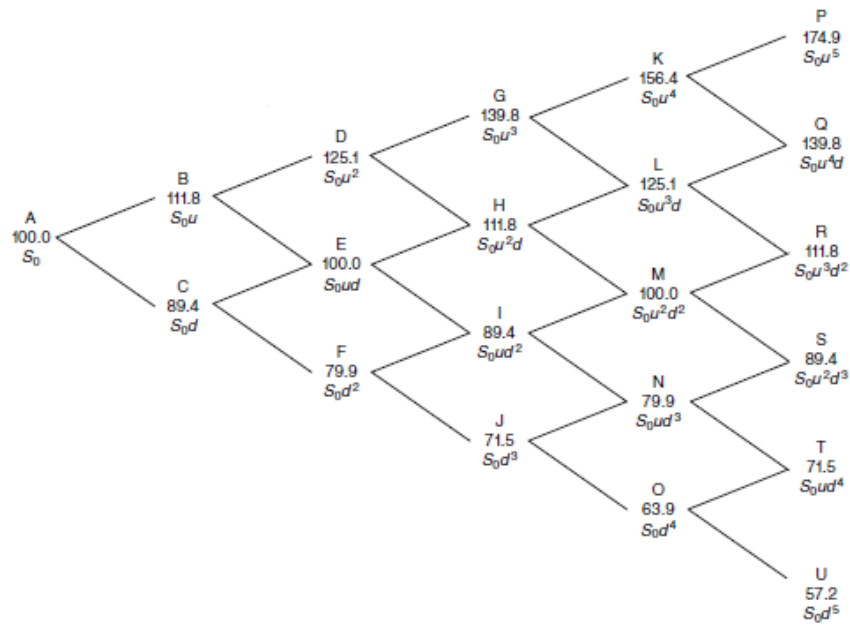


Figura 3.11.: Paso 1 Cálculo binomial. Evolución del subyacente (Mun, 2002)

$$p = \frac{e^{\hat{r} \cdot \delta t} - d}{u - d} \quad (3.40)$$

La probabilidad neutral al riesgo con dividendos sería (Mun, 2002; Domínguez, 2009):

$$p = \frac{e^{(\hat{r}-b) \cdot \delta t} - d}{u - d} \quad (3.41)$$

Siguiendo a Mun (2002) los pasos a seguir para aplicar el método binomial son dos. En el primer paso se debe calcular el tamaño de  $u$ , de  $d$ , y de  $p$  y se resuelve el árbol binomial multiplicando a  $S_0$  por los correspondientes valores. En la figura 3.11 se puede ver cómo para llegar a cada nodo se pueden seguir caminos independientes. Por ejemplo para llegar a H, el valor obtenido es el mismo si se sigue ABEH ( $S_0 \cdot u \cdot d \cdot u$ ), ABDH ( $S_0 \cdot u \cdot u \cdot d$ ) o ACEH ( $S_0 \cdot d \cdot u \cdot u$ ) siendo el resultado ( $S_0 \cdot u^2 \cdot d$ ). Este paso sería el cálculo de la evolución del subyacente.

El segundo paso consiste en volver a calcular el árbol de nuevo con el valor de las opciones. Se divide en dos pasos. En primer lugar se calculan los nodos terminales y posteriormente los intermedios con el método denominado inducción hacia atrás o regresiva. Para el cálculo de los nodos terminales es preciso calcular el valor de la opción si se ejecuta, que será igual, según se ha visto en la página 87 a:

### 3. LAS OPCIONES REALES

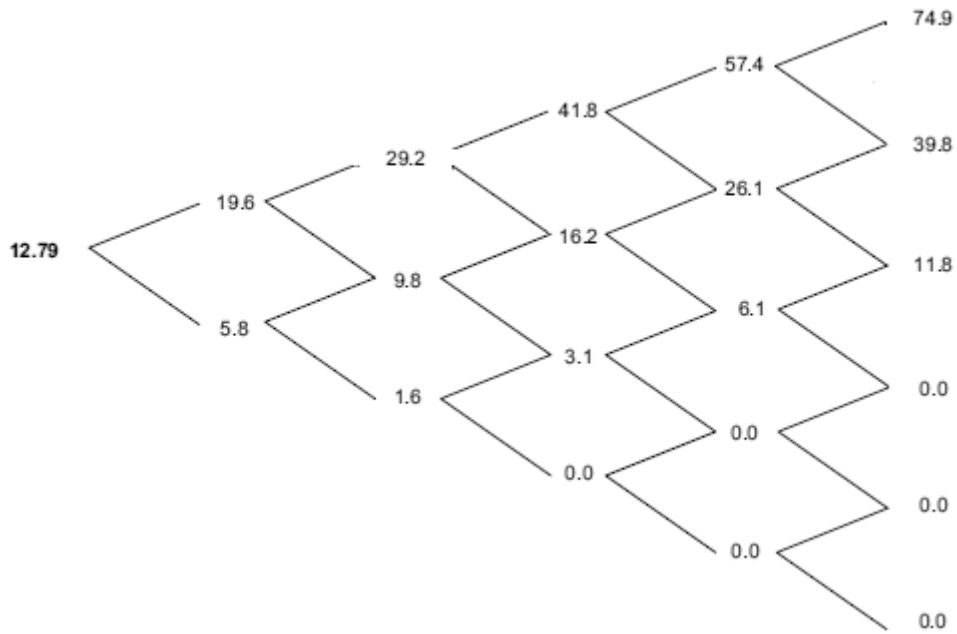


Figura 3.12.: Paso 2 Cálculo binomial. Valores de opciones europeas (Mun, 2002).

$$a > \frac{\ln \frac{X}{S \cdot d^n}}{\ln \frac{u}{d}}$$

Se tiene por tanto que para todo  $j < a$ :

$$\text{máx} \left[ u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X, 0 \right] = 0$$

y para todo  $j \geq a$ :

$$\text{máx} \left[ u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X, 0 \right] = u^j \cdot d^{n-j} \cdot S_0 - X$$

Para el cálculo de los valores intermedios, para uno en concreto, se utilizarán los dos que se derivan de él, con la fórmula:

$$C_{ij} = [p \cdot C_{iju} + (1 - p) \cdot C_{ijd}] / e^{r \cdot \Delta t}$$

Mun (2002) hace una comparación entre los resultados obtenidos con Black-Scholes y la binomial con diferentes pasos, y obtiene que a partir de 20 pasos el error con la binomial es menor del 10% y a partir 100 menor del 1%.

Es muy interesante la explicación que Mun (2002) hace de las ecuaciones 3.39. Se debe recordar que:

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}}$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

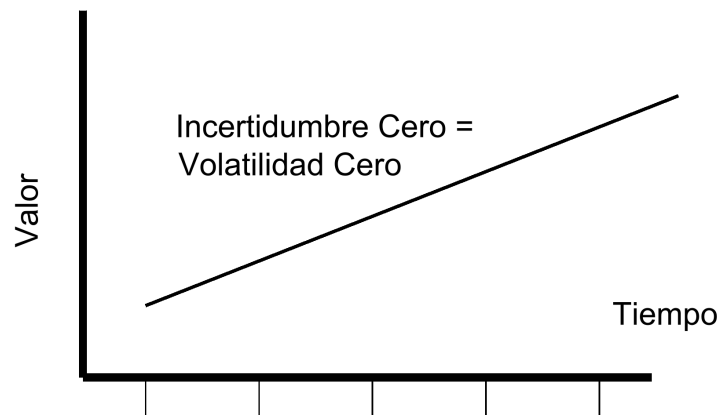


Figura 3.13.: Evolución de precios de una acción en un caso determinístico (Mun, 2002)

siendo  $u$  el tamaño del paso hacia arriba,  $d$  el tamaño hacia abajo, con  $\delta t$  el tiempo del paso y  $\sigma$  la volatilidad de los flujos de caja logarítmicos,  $r$  es el tipo de interés libre de riesgo en tanto por ciento, y  $b$  el pago de dividendos continuos en porcentaje.

Si se pensara que no hay incertidumbre ni volatilidad, se podría calcular el valor futuro de las acciones y sus derivados con la regresión de los datos históricos o con el análisis de ciclos, etcétera en los que cada valor de  $Y$  viene determinado por los regresores o por el paso del tiempo, obteniendo un gráfico como el de la figura 3.13. Pero, aunque todavía hoy existen técnicas de análisis bursátil basadas en estos métodos, la realidad del precio de las acciones es otra.

Como ya se indicó en la sección 3.3.1 al explicar la fórmula de Black - Scholes, el movimiento browniano de las partículas en física es el que se supone que siguen los movimientos de los precios de las acciones y por lo tanto de sus derivados. En la ecuación 3.1 se describe su movimiento:

$$\frac{dS}{S} = \mu \cdot dt + \sigma \cdot dz$$

También se puede utilizar un movimiento Browniano Exponencial:

$$\frac{dS}{S} = e^{\mu \cdot \delta t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$$

que para su mejor interpretación se puede separar en dos factores. La representación se puede ver en la figura.

$$\frac{dS}{S} = e^{\mu \cdot \delta t} \cdot e^{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$$

El primero de los factores,  $e^{\mu \cdot \delta t}$  es determinístico y es el que contribuye a la pendiente que marca el crecimiento de los precios. El segundo  $e^{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$  es estocástico y es el que pro-



### 3. LAS OPCIONES REALES

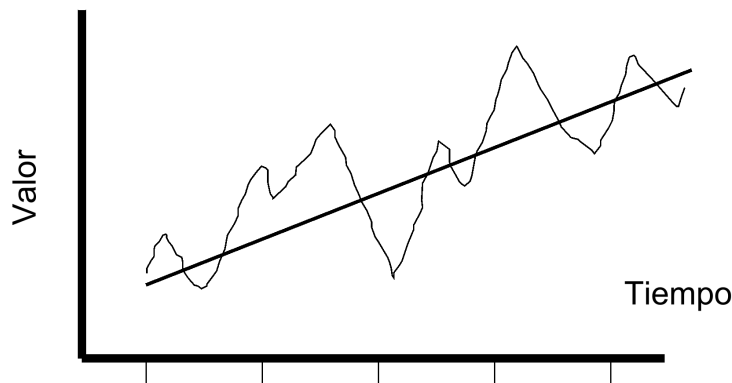


Figura 3.14.: Evolución de precios de una acción en un caso estocástico (Mun, 2002)

porciona la fluctuación alrededor de la pendiente. La  $\varepsilon$  se recuerda que es la distribución  $N(0,1)$ .

Aunque en una primera crítica al método se ve que independientemente de en qué momento del tiempo se esté, el próximo movimiento va a ser siempre de la misma magnitud, hacia arriba o hacia abajo, se debe observar que los efectos son acumulativos cuanto más lejos se esté del origen, teniendo por ejemplo  $u^4$ ,  $u^2 \cdot d^2$ , etcétera, estando correlacionados directamente con la volatilidad.

#### 3.3.3. Método de Monte Carlo

En numerosos ejemplos de la bibliografía consultada para escribir esta Tesis aparece la historia del nacimiento del método de Monte Carlo vinculada a la creación de la bomba atómica en Los Álamos durante la Segunda Guerra Mundial. Tal origen puede hacer predisponer al lector en contra del método. Para cambiar esta perspectiva, Sorsimo (2015), que también lo menciona, añade dos ejemplos muy sencillos de cómo funciona el método de Monte Carlo que cambiará a favorable la predisposición del lector. El primero consiste en cómo estimar el número  $\pi$ . Para conseguirlo se dibuja un cuadrado de lado  $2 \cdot R$  y dentro de él inscrito un círculo. Si se generan puntos dentro del cuadrado distribuidos aleatoriamente dentro de su área, y por lo tanto también del círculo, se obtendría una estimación del número  $\pi$ , contando los puntos que hay en el interior de cada uno y aplicando la siguiente fórmula:

$$\pi \approx \tilde{\pi} = 4 \cdot \frac{N_{\text{círculo}}}{N_{\text{cuadrado}}}$$

El segundo ejemplo consiste en el cálculo de una integral definida del tipo:

$$I = \int_{[0,1]^d} f(x) \cdot dx$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

con  $f(x)$  integrable en todo el dominio, la integral puede ser estimada conociendo que la  $\mathbb{E}[f(X)] = I$ , donde  $X$  es una variable aleatoria uniformemente distribuida en el dominio. La fórmula para obtener el valor estimado de la integral será:

$$I \approx \tilde{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(X_i)$$

El método de Monte Carlo puede ser aplicado directamente para el cálculo del VAN sin la utilización de opciones reales, que aunque no es lo investigado en esta Tesis, por su interés se explica en primer lugar. Este caso comprende la simulación de miles de posibles escenarios del proyecto y calcula para cada uno de ellos el VAN a través del método de descuento de flujos de caja y analiza la distribución de probabilidad para los resultados del VAN. El tipo de descuento debe ser elegido de tal forma que refleje la incertidumbre. El método puede ser usado de diferentes formas. En la más común, cada escenario de proyecto se crea tomando una variable aleatoria para cada uno de los parámetros del modelo y se calcula el VAN (Kodukula y Papudesu, 2006).

El método comprende dos pasos. En primer lugar se define la distribución de probabilidad de las variables identificando su media y su varianza. Una vía para obtenerlas es el uso de datos históricos. Si no se tuvieran estos datos, una alternativa es hacer una estimación pesimista y otra optimista basadas en la experiencia del gerente y prever que correspondan con la probabilidad del 1 % y del 99 % de la distribución Normal, obteniendo entonces los parámetros mediante tablas o software. En segundo lugar se obtiene para cada una de las variables mediante su distribución de probabilidad un valor aleatorio. Este proceso se repite miles de veces mediante un software (Kodukula y Papudesu, 2006).

Otra forma de utilización es con el cálculo de un VAN estimado con los valores previstos de las variables y posteriormente realizar miles de simulaciones alrededor de él. Pero para ello se requiere la definición de la distribución de probabilidad del VAN con su media y su varianza. Pero en este caso normalmente esta información es desconocida, por lo que el gerente deberá estimar el peor y el mejor escenario y hacerlos coincidir con la probabilidad del 1 % y del 99 % de la distribución Normal (Kodukula y Papudesu, 2006).

El método de Monte Carlo no tiene por qué ser usado aisladamente. Es decir, puede ser usado como un complemento del método determinístico, es decir, calcular primero el VAN como se hace de forma clásica, y posteriormente hacer un análisis de sensibilidad de cuáles son las variables que mayor influencia tienen en el VAN y por último hacer simulaciones focalizándose en estas variables (Kodukula y Papudesu, 2006).

Para la utilización del método con opciones reales, que es en lo que se centra esta Tesis, según la ecuación 2.10 se deben seguir los siguientes pasos (Aarle, 2013):

1. Definir un camino aleatorio para el subyacente  $S$ , en un mundo neutral al riesgo.
2. Calcular el valor de las opciones reales.
3. Repetir los pasos 1 y 2 hasta que haya suficientes valores para proporcionar un valor confiable de las opciones reales.

### 3. LAS OPCIONES REALES

4. Calcular la media de estos valores para calcular el valor estimado de las opciones reales.
5. Descontar el valor de las opciones reales al tipo de interés libre de riesgo para obtener el valor actual de las mismas.

Los pasos 2 al 5 son sencillos una vez que se tiene el primero. Para el primero, se debe definir el proceso seguido por el subyacente. Un modelo que puede ser elegido es el ya expuesto en la ecuación 3.1 del movimiento Browniano geométrico:

$$\frac{dS}{S} = \mu \cdot dt + \sigma \cdot dz$$

donde  $\mu$  es la media y  $\sigma^2$  varianza, que son constantes, y  $dz = \varepsilon \cdot dt$ , con  $\varepsilon$  una variable con distribución Normal de media cero y varianza uno, que es un proceso de Wiener.

Si la ecuación se escribe en forma discreta donde la vida de las opciones reales se divide en  $N$  intervalos pequeños de tiempo de longitud  $\delta t$  se convierte en:

$$\frac{S(t + \delta t) - S(t)}{S(t)} = \mu \cdot \delta t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t} \quad (3.42)$$

Esta ecuación permite calcular el valor del subyacente  $S$  en el tiempo  $t + \delta t$  a partir del valor de  $S$  en  $t$ . Tras  $N$  cálculos aleatorios se obtiene el camino completo seguido por el subyacente.

El método de Monte Carlo presenta frente al método binomial la ventaja de que no está afectado por la “maldición” de la dimensionalidad (Alonso *et al.*, 2007). La mayor parte de los métodos numéricos ven aumentar exponencialmente el tiempo de cálculo cuando aumenta el número de dimensiones a calcular. Esto no es así en el método de Monte Carlo. Además, el error estándar de la estimación depende inversamente del número de experimentos realizados, independientemente del número de dimensiones.

El proceso de valoración comprende seis etapas (Alonso *et al.*, 2007):

1. Caracterización del activo y sus opciones: Es la única etapa que necesita de la participación del gerente. Debe identificar cuáles serán los flujos de tesorería al igual que las variables de estado de las que dependen, como precio de los productos, costes de los factores, demanda, etcétera. La naturaleza de las fuentes de incertidumbre varía de una empresa a otra y hay que estimar el proceso estocástico que seguirá su comportamiento, como el geométrico Browniano, la reversión a la media, Poisson o sus combinaciones. También deben identificarse las opciones reales, su naturaleza y elementos básicos.
2. Estimación de los equivalentes ciertos de las fuentes de incertidumbre. Es la fase más polémica de la valoración de opciones reales. Si las variables de estado no son financieras, implica asumir que el mercado de capitales es completo y que es posible construir cualquier patrón de rendimientos a partir de los activos existentes.
3. Discretización de los procesos. Consiste en dividir la evolución continua en pasos discretos como en el método binomial. En algunos casos como en el movimiento

### 3. LAS OPCIONES REALES

geométrico Browniano se conoce la fórmula de discretización exacta, por lo que el error de discretización es independiente del plazo temporal de cada simulación y el número de subintervalos viene determinado por las fechas de ejercicio anticipado de las opciones. Si el proceso no es integrable su discretización se aproxima por la técnica de Euler, que implica la asunción de un error de aproximación que disminuye al reducir el espacio temporal de cada simulación y el aumento de pasos y por lo tanto de recursos.

4. Simulación de trayectorias. Se obtienen números aleatorios con la distribución adecuada y se calculan las variables de estado para cada número generado en cada uno de los momentos temporales.
5. Determinación de la política óptima de ejercicio. Al valorar opciones americanas hay que determinar el momento óptimo para su ejercicio. En el vencimiento el valor de la opción coincide con su valor intrínseco, mientras que en cualquier momento anterior será el máximo entre el valor en caso de ejercicio inmediato y el valor esperado de mantener vivo el derecho. Este valor esperado es la principal dificultad habiendo muchos métodos para hacerlo, y recomendando estos autores el de Longstaff y Schwartz (2001) basado en mínimos cuadrados. Dicha técnica consiste en determinar a partir de la fecha de vencimiento, las trayectorias de las variables de estado que se encuentran *In The Money* y que son las únicas en las que se puede plantear la decisión de ejercer o no ejercer. Se realiza una regresión en la que la variable dependiente es el flujo descontado que se espera que genere la opción en el futuro y con variables independientes, los valores simulados de la variable de estado. La decisión óptima de ejercicio en un determinado momento y para una determinada trayectoria, se toma comparando el valor de continuación estimado a partir de la regresión y el valor que se deriva del ejercicio inmediato.
6. Estimación del valor del activo y sus opciones. Una vez determinada la frontera de ejercicio óptima, la estimación del valor del activo y sus opciones se obtiene mediante simulación tradicional, es decir, cada trayectoria se simula desde el momento inicial hasta alcanzar el primer valor crítico de ejercicio, que se actualiza y finalmente se calcula el promedio final de todos los flujos estimados.

#### 3.3.4. El método de diferencias finitas

El método de las diferencias finitas fue propuesto por Brennan y Schwartz (1985). Mientras que los métodos binomial y Monte Carlo aproximan directamente el proceso estocástico que sigue el subyacente, el de diferencias finitas aproxima la ecuación diferencial parcial que se obtiene. Permite gran libertad al manejar procesos con coeficientes variables en el tiempo, modelos de tasas de interés simples o multifactoriales, así como manejar dividendos discretos, barreras y otros. (Otero *et al.*, 2008).

El método consiste en resolver la ecuación diferencial que satisface el derivado, la cual se convierte en una serie de ecuaciones diferenciales que se resuelven de forma iterativa.

### 3. LAS OPCIONES REALES

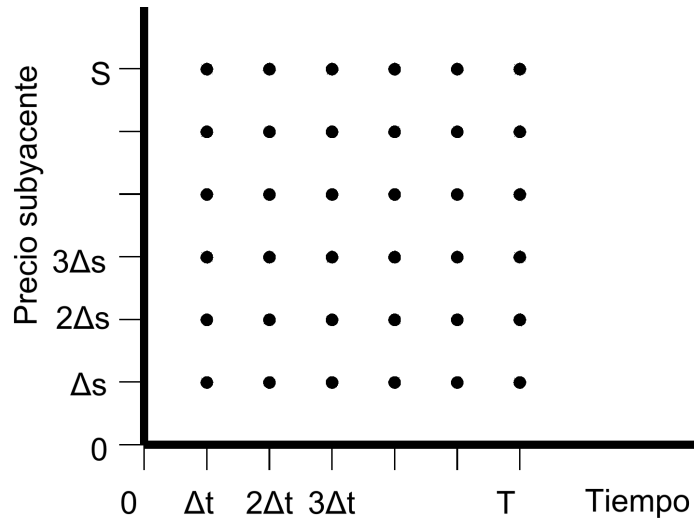


Figura 3.15.: Malla de puntos para la aproximación mediante diferencias finitas. (Otero *et al.*, 2008)

Para ver su funcionamiento se aplicará a continuación, a una opción *put* americana sobre una acción sin dividendos (Otero *et al.*, 2008). En el Anexo de la Tesis de Urzúa (2004) se pueden encontrar varios ejemplos de ecuaciones diferenciales para diferentes casos. La ecuación diferencial desarrollada a partir del movimiento geométrico Browniano con el lema de Itô, también desarrollada por Brennan y Schwartz (1985); Pelet (2003) es:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + r \cdot S \cdot \frac{\partial P}{\partial S} + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot S^2 \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial S^2} = r \cdot P \quad (3.43)$$

Posteriormente se divide el tiempo total  $T$  en  $n$  intervalos iguales de tamaño  $\Delta t = T/n$ , creando por lo tanto  $n+1$  puntos de cálculo al incluir el instante inicial. Los puntos serían:

$$0, \Delta t, 2 \cdot \Delta t, 3 \cdot \Delta t, \dots T$$

En cuanto al precio de la acción subyacente, se elige un precio lo suficientemente alto tal que si es alcanzado la opción *put* virtualmente no tenga valor. Se divide el precio  $S_{m\acute{a}x}$  en  $M$  intervalos iguales de tamaño  $\Delta s = S_{m\acute{a}x}/M$ , creando por lo tanto  $M+1$  precios de acción. Los puntos serían:

$$0, \Delta s, 2 \cdot \Delta s, 3 \cdot \Delta s, \dots S_{m\acute{a}x}$$

Uno de estos valores se asume como el precio actual de la acción. A partir de estos puntos se genera una malla de puntos como la de la figura 3.15 en la que se puede representar cualquier precio en cualquier tiempo. El punto  $(i, j)$  de la malla corresponde con el tiempo  $i \cdot \Delta t$  y el precio  $j \cdot \Delta s$ . La variable  $P_{i,j}$  será el valor de la opción en el punto  $(i, j)$ .

### 3. LAS OPCIONES REALES

Para un punto interior de la malla  $(i, j)$  la ecuación 3.43 puede ser aproximada mediante diferencias finitas, transformándose en:

$$\frac{P_{i+1,j} - P_{i,j}}{\Delta t} + r \cdot j \cdot \Delta s \cdot \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta s} + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot j^2 \cdot \Delta s^2 \cdot \frac{P_{i,j+1} + P_{i,j-1} - 2 \cdot P_{i,j}}{\Delta s^2} = r \cdot P_{i,j} \quad (3.44)$$

para  $j = 1, 2, \dots, M-1$  e  $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ . Si se reordena la ecuación se obtiene:

$$a_j \cdot P_{i,j-1} + b_j \cdot P_{i,j} + c_j \cdot P_{i,j+1} = P_{i+1,j} \quad (3.45)$$

siendo:

$$a_j = \frac{1}{2} \cdot r \cdot j \cdot \Delta t - \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot j^2 \cdot \Delta t$$

$$b_j = 1 + \sigma^2 \cdot j^2 \cdot \Delta t + r \cdot \Delta t$$

$$c_j = -\frac{1}{2} \cdot r \cdot j \cdot \Delta t - \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot j^2 \cdot \Delta t$$

Como condiciones de contorno se tiene que el valor de la opción *put* en el instante  $T$  será el  $\max [X - S_T, 0]$  donde  $S_T$  es el valor de la acción subyacente en el vencimiento. Por lo tanto:

$$P_{N,j} = \max [X - j \cdot \Delta s, 0] \quad j = 0, 1, \dots, M$$

El valor de la opción *put* cuando el valor de la acción es cero, será  $X$ , por lo que:

$$P_{i,0} = X \quad i = 0, 1, \dots, n$$

También se sabe que el valor de la opción *put* tiende a cero cuando el valor de la acción tiende a infinito, en este caso al valor máximo previsto para la acción:

$$P_{i,M} = 0 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

Estas tres condiciones de contorno definen el valor de la opción *put* a lo largo de tres contornos de la malla,  $S = 0$ ,  $S = S_{\max}$  y  $t = T$ . A partir de la ecuación 3.45 se obtienen el resto de los valores de la malla, partiendo con el tiempo  $T - \Delta t$  que genera  $M-1$  ecuaciones y se obtienen los resultados. Cada uno de los valores obtenidos  $P_{N-1,j}$  se compara con  $X - j \cdot \Delta s$  y si el valor es menor será óptimo ejercer la opción en el tiempo  $T - \Delta t$  y  $P_{N-1,j}$  toma el valor  $X - j \cdot \Delta s$ . A continuación se calculan los nodos de un intervalo de tiempo menor, y así hasta terminar la malla. Finalmente se escoge el valor de la opción de interés en precio y tiempo (Otero *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista matricial el sistema de ecuaciones a resolver es el siguiente (Sorsimo, 2015):

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{p}_j = \mathbf{p}_{j+1} - \mathbf{k}_{j+1} \quad j = M - 1, \dots, 0$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

$$\begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \ddots & & \vdots \\ 0 & a_3 & b_3 & c_3 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & a_{N-2} & b_{N-2} & c_{N-2} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & a_{N-1} & b_{N-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{1,j} \\ P_{2,j} \\ \vdots \\ \vdots \\ P_{N-2,j} \\ P_{N-1,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1,j+1} \\ P_{2,j+1} \\ \vdots \\ \vdots \\ P_{N-2,j+1} \\ P_{N-1,j+1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_1 \cdot P_{0,j} \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \\ c_{N-1} \cdot P_{N,j} \end{bmatrix}$$

Para calcular la inversa de la matriz tridiagonal se pueden usar los métodos tradicionales e incluso para acelerar el cálculo puede usarse la factorización L·U.

En la Tesis de [Pelet \(2003\)](#) se ofrece un método de diferencias finitas con ligera variación basado en el método de Crank - Nicholson, en el que las derivadas parciales se calculan usando diferentes valores que quizá sean más precisos y que en el caso de necesitar más precisión convendría ser utilizada, pero si no es necesaria, por la sencillez de comprensión es suficiente con la explicada anteriormente.

#### 3.3.5. El método de mínimos cuadrados

El algoritmo del método de mínimos cuadrados fue desarrollado por [Longstaff y Schwartz \(2001\)](#). Ha sido utilizado por varios autores, entre otros, en las Tesis doctorales de [Gravet \(2003\)](#) y de [Urzúa \(2004\)](#) con importantes resultados. El método de los mínimos cuadrados no va a ser utilizado en esta Tesis, por lo que simplemente se menciona como una herramienta más, y se remite al lector a dichas fuentes para su análisis y comprensión en los que se ofrecen ejemplos numéricos varios y toda la teoría.

En resumen, se basa en que el poseedor de una opción americana tiene la posibilidad de ejercer la opción inmediatamente si el beneficio obtenido es mayor que el valor esperado si decidiera mantenerla. El método de [Longstaff y Schwartz \(2001\)](#) se centra en estimar el valor esperado de continuar en cada oportunidad de ejercicio, a través de una regresión de mínimos cuadrados de los pagos realizados a posteriori, a partir de la información obtenida de la simulación eligiendo el momento óptimo para el ejercicio tras analizar los pagos en cada instante posterior. Una vez obtenidos los flujos de caja óptimos mediante programación dinámica, se descuentan al instante inicial, obteniendo el valor de la opción.

#### 3.3.6. Estimación de parámetros

En los anteriores apartados se ha constatado que valorar opciones puede ser relativamente sencillo e incluso, si las herramientas de cálculo han sido previamente desarrolladas, puede ser muy fácil y solo consiste en la introducción de datos. Pero en este, como en otros campos de la ciencia es ahí donde radica la gran dificultad. Por citar un ejemplo muy comentado en el ámbito de la Ingeniería de Caminos, es conocido que los modernos programas de cálculo de estructuras permiten a cualquiera con un

### 3. LAS OPCIONES REALES

mínimo conocimiento de informática, calcular un edificio de viviendas de gran altura. Pero hay dos fases en todo cálculo ya sea de ingeniería, economía o cualquier otra disciplina, que una persona sin conocimientos no puede o no debe realizar, como es la entrada de datos y la interpretación de los resultados obtenidos. La misma opinión tienen Kodukula y Papudesu (2006), para quienes el debate abierto entre los que dicen que los modelos de opciones no son válidos porque no pueden crear un cartera réplica entre subyacentes y bonos sin riesgo, cuando los subyacentes son reales, y los que creen que sí, sería un debate estéril, ya que lo verdaderamente importante es que el que ejecuta el cálculo conozca correctamente las asunciones y limitaciones de los modelos, y elija la herramienta correcta para resolver el problema, siendo cauto en la interpretación de resultados.

Al aplicar los métodos anteriores a las opciones reales se deben tener en cuenta los supuestos a partir de los que se han desarrollado, y comprobar que se cumplen para el caso de las opciones reales. Por ejemplo, como se indicaba en la sección 3.1.1, en la valoración de opciones financieras se supone que no hay oportunidades de arbitraje. Es decir, si un operador compra y vende simultáneamente un activo, no obtiene ganancia. Cuando se opera con opciones reales el problema no es que no se pueda conseguir beneficios con arbitraje, sino que es imposible comprar y vender simultáneamente por culpa de la iliquidez de los activos reales. Para evitar este problema y no dar por inválida la comparación entre las opciones financieras y las reales se recurre a tres técnicas (Kodukula y Papudesu, 2006):

1. Usar un tipo de interés que es un poco mayor que el tipo de interés sin riesgo para el modelo de valoración de opciones.
2. Usar un tipo de descuento mayor para calcular los flujos de caja descontados.
3. Aplicar un factor de descuento por iliquidez al valor final obtenido de la opción.

Con estos tres ajustes se consigue no sobrevalorar la opción por no haber tenido en cuenta la condición de no arbitraje. Los tres métodos disminuyen el valor de la opción haciéndolo más conservador.

Este apartado se centra en el análisis de cuál es el verdadero valor de los parámetros que se debe utilizar. En la página 59 y siguientes se hizo una primera aproximación al valor de los parámetros cuando se trataba de opciones reales, pero ahora se puede profundizar más al conocer las asunciones y limitaciones de los métodos de cálculo (Kodukula y Papudesu, 2006).

1. Opción financiera: Valor actual del subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Valor actual del proyecto, de la inversión de la compra o de cualquier activo real considerado. Se puede añadir que en los modelos de valoración de opciones financieras el valor del subyacente se asume que cambia con un proceso continuo, sin variaciones rápidas, que son conocidas como "saltos". Pero este supuesto es asumible en valoraciones de corto plazo y no en las de largo plazo, como las opciones reales, donde los saltos son comunes. Por ejemplo, un salto hacia abajo importante ocurre cuando expira una patente, entra un competidor de forma repentina, etcétera. En el método de



### 3. LAS OPCIONES REALES

Black - Scholes es muy difícil contemplar los saltos, pero en el método binomial es sencillo.

2. Opción financiera: Volatilidad del subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Volatilidad de los flujos de caja del proyecto. Como ya se explicó, uno de los métodos más sencillos es calcularla a partir de la desviación estándar de los logaritmos de los flujos de caja. El cálculo se hace a partir de la ratio del flujo de caja actual partido por el precedente.

$$r_1 = \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right)$$

$$\bar{r} = \sum_{t=1}^n \frac{r_t}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2$$

Pero aunque es muy sencillo, puede haber errores por ejemplo si aparecen flujos de caja negativos, porque no existe el logaritmo, o si para estimar los flujos de caja se han utilizado series temporales o ratios constantes de crecimiento. Otro método más perfeccionado consiste en la utilización del método de Monte Carlo para la obtención de los flujos de caja a partir de la simulación de todas las variables o de las más representativas tras el oportuno análisis de sensibilidad, y después aplicar el método anterior. Otro método es utilizando un proyecto similar para comparar. Se parte de un proyecto anterior y similar al actual y se calcula en base a él los flujos de caja previstos y luego se utilizan los métodos anteriores. También se puede utilizar el método de comparación de mercado que es bastante más inexacto que los anteriores, comparando con la volatilidad del precio de las acciones de una compañía que venda un producto similar al que se trate. Pero este método no es muy bueno, porque el precio de las acciones está condicionado por muchos más factores que no influyen en los flujos de caja de un proyecto, por lo que debe ser utilizado como último recurso. Por último, está el método de estimación del gerente del proyecto, en el que se estima un escenario optimista que solo será superado el 2% de las ocasiones, un pesimista que solo será peor en el 2% de las ocasiones y un escenario medio con la probabilidad del 50%. Si se asume que la distribución de los pagos es la Lognormal, conociendo dos de las tres estimaciones anteriores, se puede calcular la volatilidad con las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{\ln \left( \frac{S_{opt}}{S_{med}} \right)}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad \sigma = \frac{\ln \left( \frac{S_{med}}{S_{pes}} \right)}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad \sigma = \frac{\ln \left( \frac{S_{opt}}{S_{pes}} \right)}{4 \cdot \sqrt{t}}$$

Un punto muy importante y fuente de frecuentes errores es utilizar la volatilidad

### 3. LAS OPCIONES REALES

calculada con una base de tiempo concreta y utilizarla en los modelos para tiempos diferentes. Es decir, si la volatilidad se ha calculado con flujos de caja trimestrales ( $T_1 = 0.25$ ), y en los modelos se están utilizando pasos de tiempo anuales ( $T_2 = 1$ ), se debe transformar con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{T_2} = \sigma_{T_1} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

En un proyecto la volatilidad suele provenir de diferentes fuentes de incertidumbre, ingresos, gastos, etcétera, pudiendo ser muy distintas. El cálculo entonces puede hacerse de diferentes formas, calculando la volatilidad agregada, o haciéndolo por separado, y si se decide mantener la volatilidad separada, calculando opciones arco iris, que se definieron en la sección 3.2.9.

Por último, hay que indicar que la volatilidad puede cambiar durante la vida del proyecto, lo cual haría necesario cambiarla también en el modelo.

3. Opción financiera: Dividendos pagados por el subyacente  $\Rightarrow$  Opción real: Pérdida de flujos de caja. Se puede añadir que es posible implementarlo en todos los modelos, aunque el más sencillo e intuitivo es el binomial.
4. Opción financiera: Precio de ejercicio o *strike*  $\Rightarrow$  Opción real: Cantidad de dinero a invertir si se ejerce la opción real. Se puede añadir que debido al gran impacto en el valor de la opción y dada la dificultad expuesta para su concreción, se recomienda hacer un análisis de sensibilidad. Pero además durante la vida de la opción podría cambiar, por lo que se debería tener en cuenta e introducirlo en el modelo.
5. Opción financiera: Tiempo hasta la expiración de la opción  $\Rightarrow$  Opción real: Tiempo desde que surge la oportunidad hasta que se puede aprovechar. Se puede añadir que este tiempo en muchas ocasiones es desconocido e incluso podría llegar a ser hasta desfavorable, en contra de lo que los modelos dicen, por la posible entrada de nuevos competidores u otros aspectos no contemplados y que aparezcan por el largo plazo disponible, por lo que en ocasiones puede ser conveniente penalizar el aumento de tiempo. Por otra parte, así como Black - Scholes no necesita dividir el tiempo en incrementos, otros métodos como el binomial o el de diferencias finitas sí lo hacen. La elección de estos incrementos puede producir errores, pero serán menores que los introducidos por desviaciones en el resto de parámetros.
6. Opción financiera: Tasa de interés sin riesgo correspondiente al tiempo de vida de la opción  $\Rightarrow$  Opción real: Tasa de retorno de una inversión sin riesgo. Se puede añadir que la tasa libre de riesgo que se obtiene de los bonos del tesoro es discreta, por lo que se debería transformar a continua, lo cual se consigue con la fórmula:

$$r_f = \ln(1 + r_d)$$

### 3. LAS OPCIONES REALES

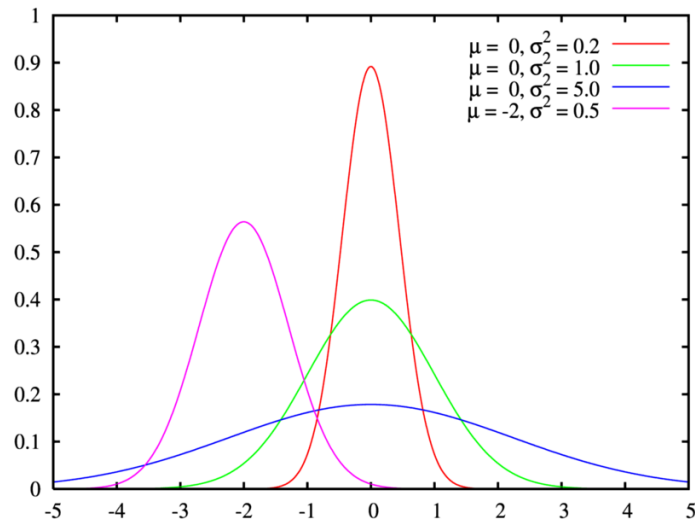


Figura 3.16.: Distribución Normal (Wikipedia, 2017)

Cuando se utiliza el método de Monte Carlo es necesario asociar a cada parámetro una distribución de probabilidad característica. Las más utilizadas son (Mun, 2002; Gracia, 2014):

- **Distribución Normal:** Se debe definir la media y la varianza. Los valores que se sitúan en la media tienen mayor probabilidad de producirse y menor cuanto más alejados estén. En la figura 3.16 se aporta su forma.
- **Distribución Lognormal:** Se debe definir la media y la varianza. No es simétrica y se utiliza en valores mayores que cero y sin límite superior. En la figura 3.17 se aporta su forma.
- **Distribución Uniforme:** La probabilidad es la misma para todos los valores. Se debe definir el mínimo y el máximo. En la figura 3.18 se aporta su forma.
- **Distribución Triangular:** Se debe definir el mínimo, el máximo y el más probable, siendo los valores más cercanos a este último los que mayor probabilidad tienen de suceder. En la figura 3.19 se aporta su forma.
- **Distribución Discreta:** Se utiliza cuando se conocen en base a la experiencia la probabilidad de cada uno de los valores. En la figura 3.20 se aporta su forma con tres valores y probabilidades diferentes. Un caso especial es el de la distribución Discreta Uniforme.

### 3. LAS OPCIONES REALES

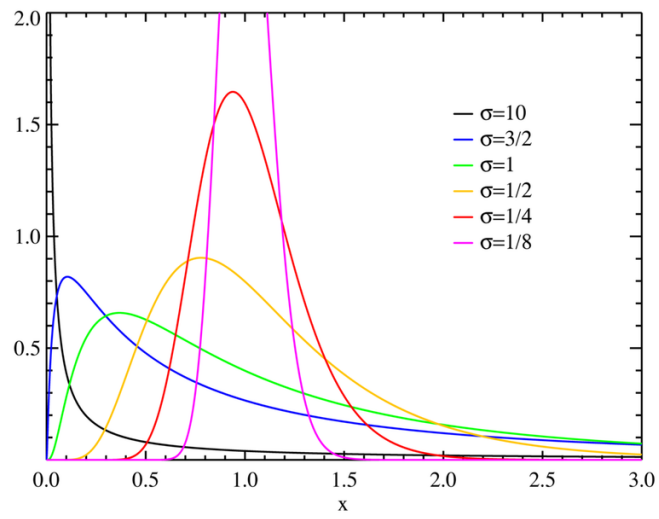


Figura 3.17.: Distribución Lognormal (Wikipedia, 2017)

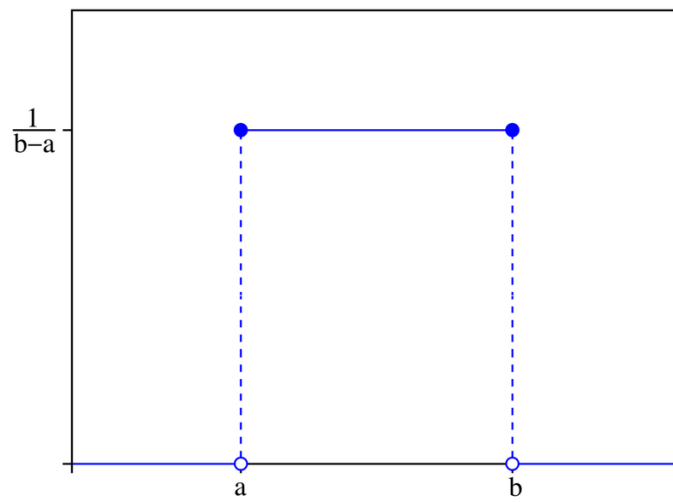


Figura 3.18.: Distribución Uniforme (Wikipedia, 2017)

### 3. LAS OPCIONES REALES

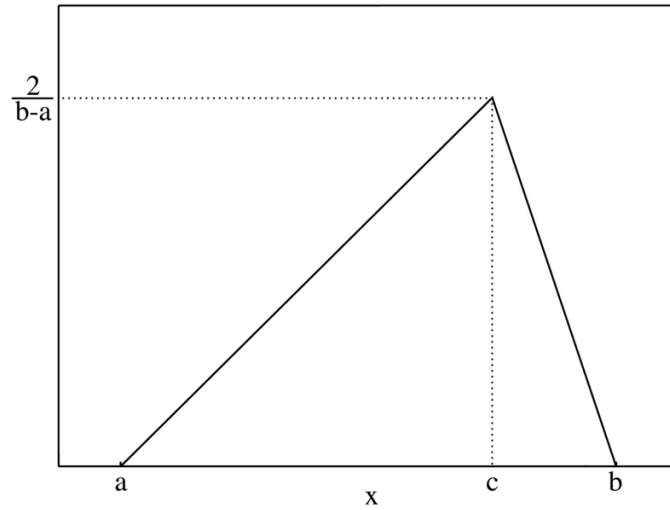


Figura 3.19.: Distribución Triangular (Wikipedia, 2017)

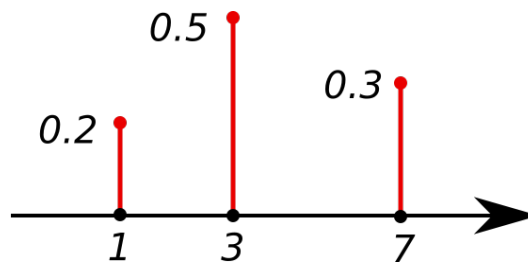


Figura 3.20.: Distribución Discreta (Wikipedia, 2017)

### 3. LAS OPCIONES REALES

#### 3.3.7. Elección del modelo adecuado

Tras el estudio de los modelos y de las variables de entrada cabe preguntarse cuál es el modelo más adecuado. Los modelos más usados son los de Black - Scholes y binomial seguidos por el de Monte Carlo. La diferencia sobre todo está en la facilidad para el ajuste a las condiciones reales del problema.

Dado el amplio uso del modelo de Black - Scholes en el mundo financiero podría parecer el adecuado para las opciones reales, pero tiene los siguientes inconvenientes (Kodukula y Papudesu, 2006):

- Es difícil de explicar para muchos gerentes ya que tiene una cierta complejidad matemática, lo cual hace que tenga un efecto de caja negra en la que se meten datos y salen resultados, impidiendo utilizar la intuición empresarial.
- Aunque como se ha demostrado en la sección 3.3.1 el método puede ajustarse al pago de dividendos, este ajuste es para pago de dividendos continuos que no es lo más común para las opciones reales.
- El modelo asume una distribución Lognormal del valor del subyacente que puede no ser cierta con subyacentes reales.
- El modelo supone que las variaciones del subyacente son continuas según su volatilidad y no contempla saltos.
- El modelo solo contempla un precio de ejercicio durante la vida de la opción mientras que en opciones reales puede cambiar.

El método de Monte Carlo por su parte presenta el problema de que el número de simulaciones aumenta exageradamente en el caso de que se trate de una opción americana con múltiples días posibles de ejercicio, o con opciones secuenciales.

El método binomial es el que ofrece mayor flexibilidad. El precio de ejercicio, la volatilidad, etcétera, pueden ser cambiados fácilmente, así como introducir pago de dividendos o saltos. También es fácil de explicar a los directivos de una empresa. Los resultados obtenidos son muy parecidos a los de Black - Scholes. Por lo tanto, se puede decir que en la práctica el método más adecuado es el binomial, y que se puede utilizar el de Black - Scholes para contrastar los cálculos (Kodukula y Papudesu, 2006).

### 3.4. GESTIÓN DE LAS OPCIONES REALES

Para afrontar correctamente la solución de un problema de opciones reales deben seguirse los siguientes pasos (Hernández, 2002; Gracia, 2014):

1. Definir el marco de aplicación. Se deben identificar las opciones reales del proyecto. Es la etapa más importante. Se debe hacer también un cuadro en el que se establecerá cuáles son las decisiones a tomar y quiénes serán los responsables de tomarlas. Para cada opción real se identificarán los orígenes de la incertidumbre

### 3. LAS OPCIONES REALES

que le afectan. Se debe plantear la regla de decisión que ayude a decidir llegado el momento de hacerlo. Se procurará que el modelo sea simple para que no pierda efectividad durante el análisis a la hora de transmitir las explicaciones.

2. Implementar el modelo de valoración de opciones. Tras definir la opción y cómo se aplicará, se calcularán los valores que se deben introducir al modelo, como el valor del subyacente, la volatilidad, etcétera y se procederá al cálculo.
3. Revisión de resultados. Se revisarán los resultados numéricos y se tomarán las decisiones oportunas según los criterios definidos en el punto 1.
4. Rediseñar si es necesario. En el primer proceso se identificaron varias opciones reales. Se calcularán otras que hayan podido ser descartadas en el primer momento volviendo a contemplar el periodo de tiempo disponible, el riesgo del proyecto, tipo de interés, etcétera.

Pero cuando finalmente se elige una opción y se lleva a cabo, la labor del gerente no es pasiva, sino que debe ser activa y tratar de mejorar los resultados obtenidos actuando sobre aquellos parámetros que esté en sus manos modificar. Mascareñas (2007) propone las siguientes sugerencias en la gestión de las opciones reales para aumentar su valor todavía más que en el momento en el que se compró o se identificó:

- Aumentar el valor actual de los cobros futuros esperados. Para ello se deben aumentar los ingresos, aumentando el precio de los productos o el nivel de producción, o generando oportunidades de negocio secuenciales con opciones compuestas.
- Reducir el valor actual de los pagos futuros esperados. Para ello se pueden aumentar las economías de escala, reduciendo el coste unitario al aumentar la producción, o aumentando las economías de alcance, aprovechando los recursos para producir otros productos.
- Aumentar la incertidumbre de los flujos de caja esperados. En ocasiones es preferible esperar a ejecutar un proyecto, que actualmente ya sea rentable, porque en el futuro todavía pueden mejorar más las condiciones. Por supuesto también pueden empeorar y se habría tomado una mala decisión.
- Aumentar la vida de la opción. Se puede pagar por aumentar la licencia de explotación, o mantener la exclusividad en la distribución, etcétera.
- Reducir el coste de oportunidad de no ejercer la opción. Se puede tratar de bloquear una posible acción de la competencia mediante presión a los reguladores o a los consumidores clave.

A veces no se puede actuar sobre todas las variables por las características del mercado sobre el que se trabaja. Se debe hacer un análisis de sensibilidad para saber sobre cuáles de las variables es mejor centrar los esfuerzos. A la vista de este análisis se puede hacer una clasificación de las opciones (Mascareñas, 2007):

### 3. LAS OPCIONES REALES

- Opciones con prioridad alta. El valor de la opción es sensible a las variables anteriores y se debe trabajar en ellas.
- Opciones con prioridad media. La opción no es sensible a las actuaciones de su propietario pero sí a las acciones de un competidor. Se debe contemplar la posibilidad de vendérsela al competidor, porque quizá sea su propietario natural, salvo que esto sea dañino para la empresa.
- Opciones con prioridad baja. La opción no es sensible a ninguna actuación sobre sus variables. Lamentablemente muchas de las opciones entran en esta categoría.

En realidad las opciones reales tienen valor, pero este valor solo existe si la gerencia toma las decisiones para llevarlas a cabo. En muchas empresas las personas que toman las decisiones no son las mismas que hacen las valoraciones, por lo que debe existir un diálogo fluido que permita identificar riesgos y amenazas y que puedan ser convertidos en oportunidades. Se trata de cambiar la mentalidad de cuánto se gana ejecutando un proyecto, hacia otra forma de pensar basada en que si iniciamos el proyecto qué opciones tenemos disponibles y qué se gana con ellas (Romero *et al.*, 2005).

Este cambio de mentalidad hará que se mejoren las estrategias de la empresa que se enfrenta a una inversión de las siguientes formas (Mascareñas *et al.*, 2003):

1. Resaltando las oportunidades. Hace que los gerentes tengan que esforzarse por buscar oportunidades incrementales en los proyectos actuales.
2. Aumentando el apalancamiento. Trabajar con opciones reales conduce a aceptar más los proyectos multietapa, en los que se va ejecutando la inversión por fases, ya que se permitirá el abandono de la inversión si se considera necesario, y por lo tanto, se apalanca la inversión.
3. Maximizando los derechos. Una empresa que trabaja con opciones adquiere el derecho sobre una oportunidad. Si el precio de ejercicio no varía, los gerentes tratarán de diferir el ejercicio de la opción aumentando de esta forma su valor, sobre todo si se posee en exclusiva.
4. Minimizando las obligaciones. Los gerentes tratarán de que las opciones sean del tipo que no obliga a nada en el caso de que en el momento de expiración estén fuera del dinero, disminuyendo así su riesgo.

Por último, la gestión de una opción real será diferente en el caso de que sea compartida o exclusiva. En la figura 3.21 se observa la explicación de Kester (1984) sobre cuál es el comportamiento, dependiendo del grado de exclusividad en la posesión de la opción y la competitividad.

El cuadrante superior derecha es el que la opción se posee en exclusiva y no hay mucha competitividad aconseja mantener la opción hasta el final sin duda. Tampoco hay duda en el cuadrante inferior izquierdo para la acción contraria, es decir para la ejecución inmediata ya que la competencia podría adelantarse y quedarse con el negocio.



### 3. LAS OPCIONES REALES

<p>El poder de mercado de las empresas dominantes aumenta su capacidad de apropiarse del valor de las opciones. Tendencia a mantener las opciones hasta que los competidores más débiles las ejerzan.</p>	<p>Escasa competencia</p>	<p>Las empresas dominantes pueden apropiarse del valor de la opción. Las opciones deben mantenerse hasta la expiración porque no existe riesgo de pérdida de valor.</p>
<p>Opciones compartidas</p> <p>Poca o ninguna capacidad para apropiarse del valor total de una oportunidad de inversión. Rápido ejercicio de opciones por razones defensivas.</p>	<p>Fuerte competencia</p>	<p>Opciones exclusivas</p> <p>Riesgo de pérdida parcial del valor por la actividad competitiva. Tendencia a ejercitar pronto las opciones para evitar la disminución del valor.</p>

Figura 3.21.: Momento de ejecución de las opciones en función de la competitividad y su exclusividad (Kester, 1984).

Por el contrario, en el cuadrante superior izquierdo sí aparecen dudas. Pero al existir poca competencia las empresas dominantes tratarán de mantenerlas hasta que un competidor más débil se adelante. También aparecen dudas en el cuadrante inferior derecho, porque aunque no hay riesgo de que las ejecuten otras empresas, sí pueden ejercer otras acciones que disminuyan su valor, por lo que las empresas que las posean tratarán de ejercerlas lo antes posible.

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Él es todo eso, pero también mucho más, mucho más; y la tierra es mucho más que lo que revela su análisis. El hombre, que es más que sus reacciones químicas, caminando sobre la tierra, torciendo la reja del arado para esquivar una piedra, soltando la esteva para dejarse resbalar por una roca que sobresale, arrodillándose en la tierra para almorzar; el hombre que es algo más que los elementos que lo componen, conoce la tierra que es más que un análisis de componentes. Pero el hombre de la máquina, conduciendo un tractor muerto por un campo que ni conoce ni ama, solo entiende la química; y siente desprecio por la tierra y por sí mismo. Cuando las puertas de hierro galvanizado se cierran, él se va a su casa, y su casa no es el campo.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

### 4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explicarán las particularidades del negocio inmobiliario en España. Por supuesto, muchas de las claves que se exponen son extrapolables a otros países, pero no todas ellas, y tampoco en el mismo momento del ciclo económico.

El negocio inmobiliario es mucho más complejo que otros sectores por numerosos factores que son exclusivos de él o, aunque se dan en otros lo hacen de manera aislada, lo que implica que para estos últimos no sean condicionantes.

Por ejemplo, la inversión de capital necesaria para llevar a cabo un proyecto inmobiliario es muy elevada. En la sección 4.4 se explican varios de los costes en los que se debe incurrir para llevar a cabo un proyecto. Estos costes que siempre han sido elevados están aumentando gradualmente con el paso del tiempo, aparte de por motivos inflacionarios por supuesto, por la incorporación de mejoras obligatorias que los gobiernos de los países exigen y que son necesarias y acertadas por el bien de la sociedad y del medio ambiente. Por ejemplo, se pueden citar mejoras para el consumo energético, aislamientos acústicos, barreras arquitectónicas, etcétera, que hacen que el medio ambiente tenga menores emisiones de CO<sub>2</sub>, que las personas que vivan en la vivienda tengan un mayor confort en muchos sentidos, siendo el acústico uno de los más importantes por la repercusión tan importante en la vida de una persona. O qué decir de las barreras arquitectónicas, construyendo unas calles y unos edificios más humanos gracias a su eliminación. Sobre este último punto, por ejemplo, para la persona que viaja entre países con diferente grado de desarrollo, es llamativa la diferencia de personas con sillas de ruedas en las calles entre unos países y otros. Esto se debe sin duda a la posibilidad que tienen en los países desarrollados de poder bajar hasta la calle y poder desplazarse por

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

ellas. Todo esto hace que aumenten los costes, aunque si se incluyen dentro del diseño del proyecto desde el origen, su coste es mucho menor que si se hace posteriormente.

La construcción de una fábrica, por supuesto también conlleva una gran inversión de capital, pero la diferencia con el negocio inmobiliario es el tipo de producto. Una diferencia es que cualquier producto de una fábrica, ya sea pequeño, como un teléfono móvil, un juguete o un alimento, o grande como un aerogenerador o un avión, será transportado a cualquier parte del mundo, siendo por tanto la elección de la ubicación de la planta una decisión que se tomará por motivos tales como la mano de obra, o la cercanía de las materias primas, aunque una vez más, y con la disminución continua de los costes de transporte, esto es un tema menos prioritario excepto para algún tipo de industria muy específico, como puede ser una bodega. Por el contrario, el producto inmobiliario, como indica el origen de su nombre, no se puede mover lo que hace que la elección del lugar elegido para el producto sea clave.

Quizá el factor más importante para el precio de un inmueble sea la ubicación. Pero conocer el precio derivado de la ubicación no es tan sencillo como en un primer momento pudiera parecer, ya que depende de las particularidades no ya de un país o región, sino de cada ciudad. Por ejemplo, el centro de una ciudad en general es un factor favorable, pero en ciudades en las que sus centros históricos no han sido sometidos a procesos integrales de renovación, o no están bien comunicados por ser peatonales, etcétera, pueden ser peor vistos que barrios nuevos residenciales con zonas verdes o piscinas o con cercanía a centros comerciales o vías de comunicación. Pero hay muchos más, la presencia de una fábrica cercana puede penalizar el barrio o incluso la ciudad entera, o incluso las modas, que pueden hacer que un barrio sea preferido a otro, teniendo las mismas características.

Pero este punto de la ubicación, si en la vivienda es importante y también en aparcamientos, en cuanto a superficies comerciales es clave, y en ocasiones, único. En todas las ciudades hay ejemplos de locales comerciales situados en calles con un altísimo valor, y otros, separados muy pocos metros, cuyo valor es una décima parte y que nunca han sido alquilados. Es más, el valor puede venir condicionado por la existencia de un polo atractor externo que puede cambiar de lugar y revalorizar la zona en la que se ubicará y, por lo tanto, depreciar la antigua.

Otra diferencia con los productos de una fábrica es el precio tan elevado del producto. Hay fábricas en las que el precio de su producto también es muy elevado o incluso más que el de una vivienda, aviones, trenes, máquina herramienta, etcétera, pero lo que hace diferente al mercado inmobiliario es que el cliente, pese a ser un producto con coste muy elevado, en la mayoría de las ocasiones es una persona normal, para la que la compra de una vivienda puede ser la más importante de su vida y tardará muchos años en poder pagarla.

Por increíble que parezca, en momentos de auge inmobiliario este aspecto no es el más importante. En la primera década del siglo XXI en España se vivió una situación de burbuja inmobiliaria, que lamentablemente no puede calificarse como excepcional, porque ha ocurrido en otras ocasiones y volverá a ocurrir, quizá no en España, porque esperemos que se haya aprendido la lección, pero sí en otros países. Frases como “todo se vende, no te preocupes”, “compra, que mañana será más caro y podrás venderlo sin

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

problema”, “solo tiene dos habitaciones, pero con lo que se revalorice en cuatro años me compro el de tres o el de cuatro”, “se ha vendido todo sin empezar la obra”, etcétera, eran lo normal hasta que todo se acabó. El cliente hoy sí que sabe que es muy difícil que pueda cambiar de casa, o que su vivienda no se revalorizará o lo hará en tasas que en ningún caso le permitirán hacer un negocio con la compraventa. Es por ello por lo que el cuidado en el diseño de cada parte de la vivienda, en la elección de materiales, etcétera, tiene que hacerse de forma muy cuidada porque un error podría hacer que no se vendieran varias unidades o la promoción al completo.

Desde el punto de vista económico es clave la velocidad de venta. En España se ha pasado de obtener la financiación de forma directa solo con presentar en el banco el proyecto, a tener que presentarle un elevado número de preventas para que comiencen a estudiarlo. Se trata de minimizar los riesgos para la entidad bancaria y trasladarlos al promotor. Este modelo es el que en general está extendido por otros países (Guevara *et al.*, 2009) y quizá sea el más adecuado con el fin de que haya menos fracasos inmobiliarios, pero presenta otros inconvenientes. Por ejemplo, limita mucho la posibilidad de entrada al mercado a pequeñas empresas que no van a poder afrontar la compra de terrenos y por lo tanto no van a poder hacer las preventas necesarias. De esta manera, para poder llevar a cabo proyectos en los que sea necesaria la urbanización de los terrenos, es fundamental partir de un importante capital para la compra de los terrenos, lo cual conlleva un gran riesgo, o recurrir a otras fórmulas como la permuta por producto terminado con el propietario del terreno.

Con esta introducción no se ha pretendido hacer una enumeración de todas las particularidades que tiene un proyecto inmobiliario respecto a otros, sino transmitir al lector que se requiere un análisis profundo del proyecto en su conjunto, que permita hacer una valoración correcta del mismo para eliminar riesgos. La sociedad española, es decir, hombres y mujeres, familias, jóvenes, todos ellos con ilusión y sin mayor pretensión en la mayoría de los casos que llevar una vida normal y buscar un futuro mejor para ellos y sus familias, han visto cómo sus sueños desaparecían, cuando no se han visto inmersos en situaciones dramáticas por culpa de decisiones tomadas por otros. Quizá muchos de los problemas podrían haberse evitado con análisis del mercado. Quizá no. Siempre habrá algunos cuya ambición desmedida acabe arruinando a los demás y, ni los análisis efectuados con los métodos expuestos en esta Tesis o en otras, ni los reguladores, podrán evitarlo.

#### 4.2. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL MERCADO INMOBILIARIO

Antes de comenzar un proyecto inmobiliario es primordial hacer un análisis de la demanda o estudio de mercado para conocer realmente si existe una verdadera necesidad de viviendas, o si el mercado ya está en declive. El estudio se puede hacer de muchas maneras y cada empresa tendrá su técnica preferida. Los estudios más sencillos pueden hacerse mediante encuestas a las inmobiliarias, con las que se pueden obtener datos reales y recientes y además se detecta el sentimiento de los vendedores, pero este

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

método tiene muchos riesgos, y no solo que la información está siendo suministrada por personas que pueden no ser muy profesionales, sino que lo que es peor, pueden aportar una información sesgada con el fin de conseguir trabajo para ellas mismas en el futuro. Estudios un poco más complejos pueden provenir de análisis de información de prensa, asociaciones de promotores, federaciones de empresarios, etcétera.

Pero inversiones de tanta importancia económica como la inmobiliaria deberían tener unos sistemas más serios que los anteriores. Es necesario caracterizar la evolución que seguirán las variables más importantes, como los precios o la demanda, con métodos de análisis matemático. Es decir, hay que conseguir eliminar la incertidumbre creada por la opinión de personas basada en criterios subjetivos y conseguir una predicción de los valores futuros de las variables que afectan al proyecto o a la economía en general para poder tomar decisiones de manera más segura.

Para la caracterización de las variables mencionadas se pueden utilizar varios métodos. Entre estos se pueden seleccionar los métodos estadísticos basados en modelización univariante de series temporales, o los de regresión simple o múltiple. Así como los métodos de regresión son ampliamente conocidos por la mayoría de los gerentes de empresas, no lo son tanto los basados en series temporales. Dependiendo de la variable en estudio y su ajuste a este tipo de métodos, la información obtenida será más o menos valiosa.

En este apartado se va a hacer un análisis con modelización univariante de series temporales. Son varios los objetivos perseguidos. En primer lugar demostrar que es posible prever en cierta medida la evolución del mercado inmobiliario. Pero también se ha marcado como objetivo explicar el método para que los gerentes de las empresas puedan llevarlo a la práctica con la aplicación de herramientas informáticas, utilizando para la explicación series temporales de máximo interés para ellos. Se ha optado por el desarrollo detallado del método para evitar la utilización de los programas sin conocer qué es lo que realmente se está haciendo.

Mediante este método es posible predecir una serie temporal únicamente con los datos de la propia serie. Es un método que es laborioso si se ejecuta manualmente o con hoja de cálculo, por lo que la automatización mediante un programa de ordenador, como Gretl, resulta muy útil.

En esta sección se explica el método mientras se efectúan los cálculos para la serie elegida. En el boletín estadístico de la página web del [Banco de España \(2015\)](#) son muy numerosas las series que se publican relacionadas con el mercado inmobiliario o que pueden afectarlo, como precio medio del metro cuadrado de la vivienda, libre o protegida, totales o diferenciados para menores o mayores de dos años de edad; IPC de la vivienda y de otros muchos bienes; trabajadores parados en el sector de la construcción con datos de los servicios públicos de empleo o de la Encuesta de Población Activa; presupuestos de licitación de obras de edificación; número y presupuesto de visados de proyectos en los colegios profesionales, con gran desagregación en función de número de viviendas en proyecto, tamaños, fase de la obra, etcétera; licencias concedidas en número, tipo y presupuesto; tasaciones de vivienda también con gran desagregación de los datos; tipos de interés hipotecarios; consumo de cemento; etcétera.

La serie que se va a analizar paso a paso es la que recoge las licencias de construc-

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

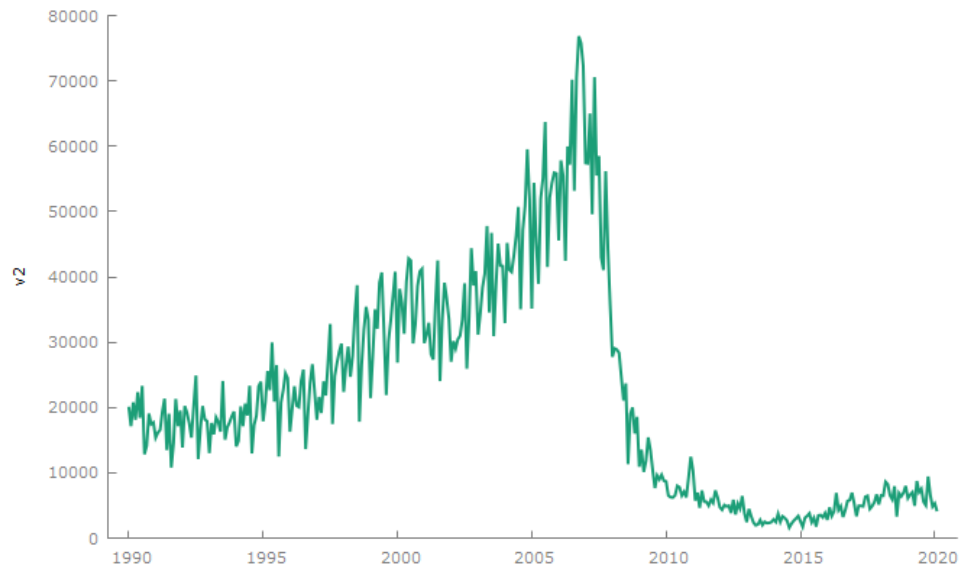


Figura 4.1.: Licencias de construcción en número de viviendas (Elaboración propia a partir de datos de [Banco de España \(2015\)](#)).

ción para nuevas viviendas. El estudio de esta serie es muy importante, ya que es un indicador de proyectos reales que van a construirse y que han tenido ya un trabajo previo de preventas y que se entiende que han sido exitosos, porque conlleva gastos como marketing, pagos de tasas de licencia, etcétera. Por supuesto cada empresa puede preferir un indicador diferente. Por ejemplo, una empresa podría preferir el número de visados en los colegios profesionales, ya que puede ser un indicador más adelantado que el de las licencias, es decir, se podría detectar un retroceso en el número de visados que indicaría que la demanda está disminuyendo, pero por otra parte también podría alegarse que muchos proyectos visados no llegan a obtener licencia porque durante su tramitación se ha detectado que las preventas no funcionan y la promotora decide abandonarlo.

En concreto la serie utilizada ha sido la 314.384 que se encuentra en el archivo BE2307 ([Banco de España, 2015](#)). La metodología seguida se ha obtenido del excelente libro de [Pulido y López \(1999\)](#) y también de [Chatfield \(2004\)](#).

##### 4.2.1. Transformación de los datos de la serie licencias

En la figura 4.1 se aporta el gráfico temporal de los datos hasta febrero de 2020, correspondiendo cada dato con la suma del número de unidades de viviendas que han obtenido licencia en los Ayuntamientos españoles. No se aportan los datos ya que ocuparían mucho espacio y son fácilmente accesibles en Internet.

El gráfico no deja lugar a dudas sobre la magnitud de la crisis, tras un crecimiento sostenido durante 15 años, el ajuste, cuyo descenso comenzó en el año 2006, perduró 9 años, y los últimos años se ha estabilizado con niveles muy inferiores a los de los años

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

90, incluso vuelve a bajar.

El análisis de los datos desprende un dato interesante para comprobar la idoneidad del estudio de esta serie, y es que actuó como indicador adelantado de la crisis. El pico de las licencias concedidas está en el año 2006, mientras que la crisis comenzó en el año 2007. Esto se debe a que el sector de la construcción residencial tiene un comportamiento con mucha inercia, debido a que en primer lugar se debe elaborar el proyecto de las viviendas, lo cual comprende aproximadamente 6 meses; posteriormente se concede la licencia por parte del Ayuntamiento, lo cual puede tardar entre 3 y 12 meses; y posteriormente la construcción de las viviendas toma de media 18 meses. Por esta razón, a pesar de que ya se estaba notando desde el 2006, el paro comenzó a preocupar a la población a partir de 2007 y este fue aumentando progresivamente durante varios años y no de manera tan brusca como las licencias concedidas, ya que su ajuste es más rápido.

En primer lugar se debe analizar si se trata de un proceso estacionario en media y varianza. Como se aprecia fácilmente la serie tiene una clara tendencia creciente hasta el año 2006 y decreciente a partir de entonces y además presenta picos que pueden corresponder a la presencia de estacionalidad, por lo que no es estacionaria ni en media ni en varianza.

Puede llamar la atención que una serie de este tipo presente estacionalidad, pero efectivamente la concesión de licencias presenta estacionalidad debido a las vacaciones de agosto. En los Ayuntamientos españoles normalmente la actividad se ve muy disminuida durante ese mes, por lo que tradicionalmente se trata de conceder las licencias antes de partir de vacaciones, lo cual hace que aumenten en julio y disminuyan en agosto.

Por lo tanto, y comenzando ya con el tratamiento de la serie, en primer lugar se debe convertir la serie en estacionaria. Para ello en primer lugar, se debe estabilizar la varianza, ya que se ve que aumenta o disminuye cuando respectivamente aumenta o disminuye la media de las licencias concedidas. Se utilizará una transformación de los datos logarítmica, que además de estabilizar la varianza ayuda a que si el efecto estacional de los datos es multiplicativo, se convierta en aditivo.

En la figura 4.2 se observan la representación de los datos tras la transformación logarítmica.

Como se puede observar la transformación ha sido en parte efectiva, ya que ahora sí la varianza está estabilizada, pero se sigue observando la tendencia creciente hasta 2006, decreciente hasta 2015 y creciente posteriormente, y los picos de estacionalidad, como era de esperar porque no se ha actuado sobre ellos. Aunque se ve a simple vista que no es estacionaria en media y varianza, para saber si es estacionaria una serie se puede aplicar con Gretl el test de Dickey - Fuller aumentado, el cual indica no solo si el modelo es del tipo autorregresivo AR, como lo hace el test de Dickey - Fuller estándar, sino que también si es un proceso de tipo medias móviles MA, o un proceso ARIMA en general. Para obtener información sobre el test se puede consultar el libro de Pulido y López (1999). Aunque el propio programa calcula directamente los  $p$ -valores, se aportan en la tabla 4.1 los valores de contraste (Fuller, 1976).

Tras aplicar el test con Gretl se obtiene (se ofrece parte de la salida del programa):

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

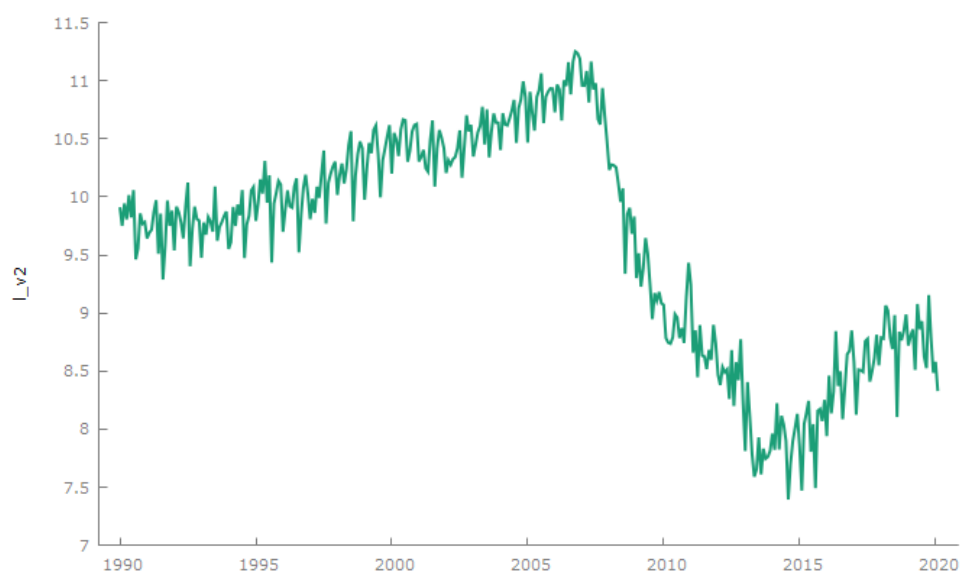


Figura 4.2.: Logaritmo de número de viviendas (Elaboración propia).

Valores críticos para el test de Dickey Fuller				
Tamaño de la muestra	Sin tendencia		Con tendencia	
	1 %	5 %	1 %	5 %
T = 25	-3.75	-3.00	-4.38	-3.60
T = 50	-3.58	-2.93	-4.15	-3.50
T = 100	-3.51	-2.89	-4.04	-3.45
T = 250	-3.46	-2.88	-3.99	-3.43
T = 500	-3.44	-2.87	-3.98	-3.42
T = $\infty$	-3.43	-2.86	-3.96	-3.4

Tabla 4.1.: Valores de contraste para el test de Dickey Fuller (Fuller, 1976).



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

*tamaño muestral: 345*  
*hipótesis nula de raíz unitaria:  $a = 1$*   
*contraste con constante*  
*valor estimado de  $(a - 1)$ : -0.0129755*  
*estadístico de contraste:  $\tau_c(1) = -1.17555$*   
*valor  $p$  asintótico 0.6873*  
*con constante y tendencia*  
*valor estimado de  $(a - 1)$ : -0.0294775*  
*estadístico de contraste:  $\tau_{ct}(1) = -2.06718$*   
*valor  $p$  asintótico 0.5636*

Como se puede observar y era de esperar, porque gráficamente se apreciaba con claridad, la serie no es estacionaria, ya que el estadístico de contraste supera ampliamente al de la tabla 4.1 y el  $p$ -valor es mayor de 0,05.

El siguiente paso consiste en aplicar filtros para eliminar la tendencia y la estacionalidad. En primer lugar se aplicará un filtro de primeras diferencias restando a cada valor de la serie el del mes anterior para tratar de eliminar la tendencia. Los datos obtenidos son la tasa de variación mensual, ya que los datos están en logaritmos. La ecuación del filtro sería:

$$D = \ln x_t - \ln x_{t-1} \quad (4.1)$$

Se observa en la figura 4.3 como se ha eliminado la tendencia y ya está estabilizada. La media es igual a -0.0043833 y la varianza es estable, siendo su valor 0,0732. Pero es conveniente aplicar también el test de Dickey Fuller aumentado.

Tras aplicar el test con Gretl se obtiene (se ofrece parte de la salida del programa):

*tamaño muestral: 345*  
*hipótesis nula de raíz unitaria:  $a = 1$*   
*contraste con constante*  
*valor estimado de  $(a - 1)$ : -1.2156*  
*estadístico de contraste:  $\tau_c(1) = -2.95708$*   
*valor  $p$  asintótico 0.0391*  
*con constante y tendencia*  
*valor estimado de  $(a - 1)$ : -1.2523*  
*estadístico de contraste:  $\tau_{ct}(1) = -3.01528$*   
*valor  $p$  asintótico 0.1279*

Como se puede observar, la serie con constante sería estacionaria dependiendo del nivel de significación elegido, ya que el estadístico de contraste no supera el del 5 % pero sí supera el del 1 % de la tabla 4.1 y el  $p$ -valor es cercano a 0,05.

Analizando con detalle la gráfica, se observa como regularmente aparecen variaciones mayores, por lo que se puede intuir que la serie puede tener estacionalidad como se ha comentado anteriormente.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

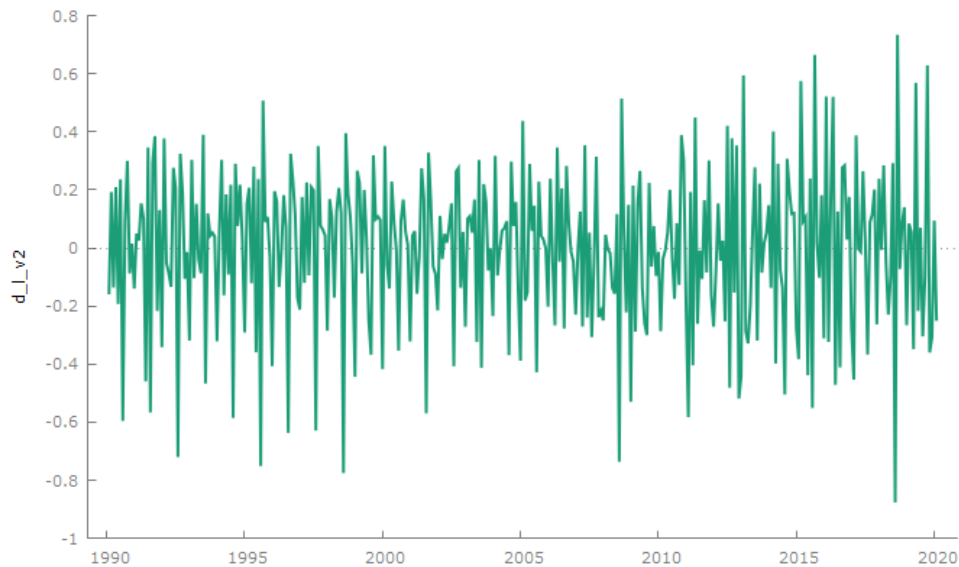


Figura 4.3.: Primeras diferencias del logaritmo de unidades de viviendas (Elaboración propia).

Para comprobar si tiene estacionalidad y en su caso eliminarla, se recurre otra vez a aplicar un filtro en este caso anual que consiste en restar a cada uno de los datos el dato del año anterior. Se ha supuesto que la estacionalidad es anual por lo reflejado en los datos y porque además tiene sentido al estar influenciadas las licencias por variaciones debidas a las vacaciones principalmente.

La ecuación del filtro sería:

$$DD12_t = D_t - D_{t-12} \quad (4.2)$$

Se aportan en la figura 4.4 los datos transformados. Como se puede comprobar la serie sigue siendo estacionaria, y los picos son mucho menores, la media es igual a  $-0.00059543$ , más cercana a cero que antes y la varianza sigue estable, siendo su valor  $0,07216$ . Ahora bien, se observa que en los datos más recientes la varianza es más alta que en los datos más antiguos.

Es conveniente aplicar también el test de Dickey Fuller aumentado.

Tras aplicar el test con Gretl se obtiene (se ofrece parte de la salida del programa):

*tamaño muestral: 332*

*hipótesis nula de raíz unitaria:  $a = 1$*

*contraste con constante*

*valor estimado de  $(a - 1)$ :  $-3.09938$*

*estadístico de contraste:  $\tau_c(1) = -6.13446$*

*valor  $p$  asintótico  $5.65e-008$*

*con constante y tendencia*

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

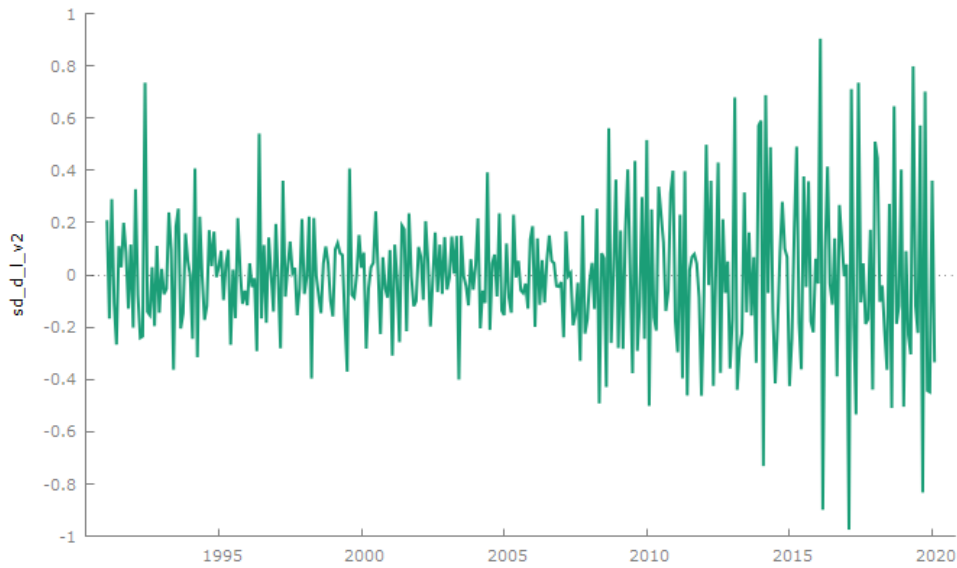


Figura 4.4.: Diferencia anual de las primeras diferencias del logaritmo de unidades de viviendas (Elaboración propia).

valor estimado de  $(a - 1)$ : -3.09888  
 estadístico de contraste:  $\tau_{ct}(1) = -6.12323$   
 valor  $p$  asintótico  $5.763e-007$

Tras esta transformación sí que se puede afirmar con rotundidad que la serie es estacionaria. Los  $p$ -valores son prácticamente iguales a cero y los valores de contraste son menores que los valores de la tabla 4.1. Una vez estabilizada la serie, puede continuarse con el análisis.

#### 4.2.2. Correlograma de la serie licencias

En el análisis de una serie temporal tiene una importancia capital el análisis de las covarianzas entre los diferentes elementos. Para ello se calculan los coeficientes de autocorrelación simples entre diferentes desfases de tiempo. Para calcularlos es muy práctico calcular los coeficientes de autocovarianza, que vienen definidos por la siguiente ecuación:

$$C(t_1, t_2) = C(t_2, t_1) = C_u = C_{-u} = \frac{\sum_{t=1}^{t=u} (Z_t - \bar{Z}) \cdot (Z_{t+u} - \bar{Z})}{n} \quad (4.3)$$

La ecuación que da la función de autocorrelación total es la siguiente:

$$R(t_1, t_2) = R(t_2, t_1) = R_u = R_{-u} = \frac{\sum_{t=1}^{t=u} (Z_t - \bar{Z}) \cdot (Z_{t+u} - \bar{Z}) / n}{\sum_{t=1}^t (Z_t - \bar{Z})^2 / n} \quad (4.4)$$

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

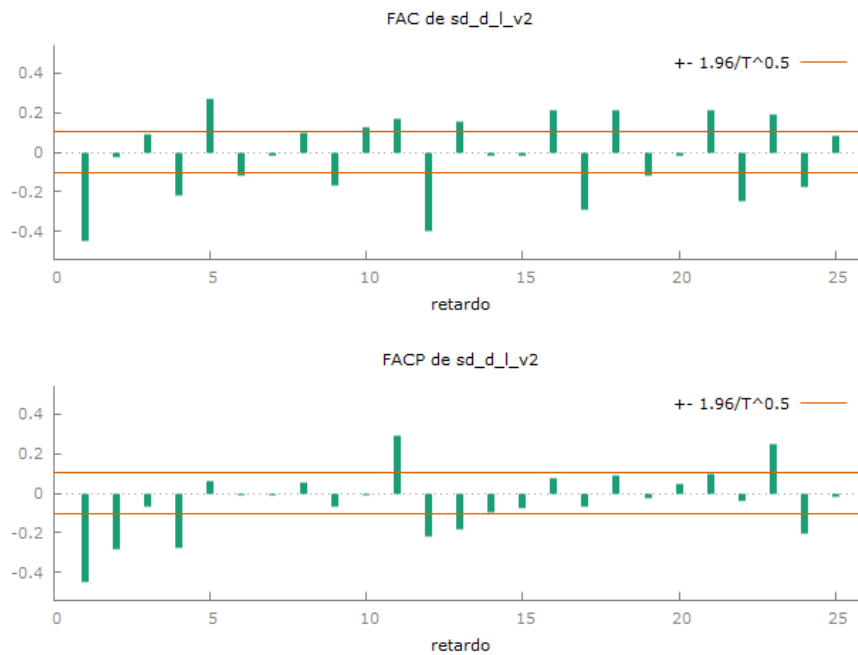


Figura 4.5.: Función de autocorrelación total (FAC) y parcial (FACP) datos con diferencias (Elaboración propia)

También será necesario el cálculo de los coeficientes de autocorrelación parcial. Para ello se recurre a las ecuaciones de Yule Walker que tienen la siguiente expresión para el coeficiente del parámetro de orden 4 por ejemplo.

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & R_1 & R_2 & R_3 \\ R_1 & 1 & R_1 & R_2 \\ R_2 & R_1 & 1 & R_1 \\ R_3 & R_2 & R_1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

El cálculo del correlograma puede hacerse sobre los valores en logaritmos pero sin haberles aplicado ningún filtro, o sobre los valores ya filtrados. En esta Tesis, y con el fin de que sea más didáctico, se va a hacer de ambas maneras. Como se ha explicado anteriormente se han efectuado los cálculos con Gretl. y dada la facilidad de cálculo se ha hecho hasta el retardo 24. Los resultados obtenidos para el caso de los resultados filtrados se aportan en la tabla 4.2. El nivel de significación se calcula con:

$$t = \frac{2}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{362}} = 0.1051$$

En la figura 4.5 se representan en un gráfico los valores obtenidos con el nivel de significación de manera que se observa de manera muy clara aquellos valores que son significativamente mayores que cero.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

RETARDO	FAC		FACP		Estad-Q.	[valor p]
1	-0.4474	***	-0.4474	***	70.4581	[0.000]
2	-0.0262		-0.2831	***	70.4581	[0.000]
3	0.0929	*	-0.0663		73.7594	[0.000]
4	-0.2188	***	-0.2755	***	90.7584	[0.000]
5	0.2671	***	0.0623		116.1555	[0.000]
6	-0.1191	**	-0.0094		121.2193	[0.000]
7	-0.0156		-0.0081		121.3063	[0.000]
8	0.0974	*	0.0508		124.7114	[0.000]
9	-0.1699	***	0.0671		135.1156	[0.000]
10	0.1270	**	-0.0135		140.9442	[0.000]
11	0.1729	***	0.2936	***	151.7841	[0.000]
12	-0.3963	***	-0.2178	***	208.8615	[0.000]
13	0.1581	***	-0.1809	***	217.9687	[0.000]
14	-0.0212		-0.0975	*	218.1328	[0.000]
15	-0.0197		-0.0719		218.2748	[0.000]
16	0.2128	***	0.0733		234.9356	[0.000]
17	-0.2920	***	-0.0648		266.3936	[0.000]
18	0.2129	***	0.0905	*	283.1724	[0.000]
19	-0.1148	**	-0.0238		288.0657	[0.000]
20	-0.0166		0.0447		288.1686	[0.000]
21	0.2100	***	0.0958	*	304.6312	[0.000]
22	-0.2452	***	-0.0364		327.1454	[0.000]
23	0.1905	***	0.2497	***	340.7872	[0.000]
24	-0.1760	***	-0.2083	***	352.4619	[0.000]

Tabla 4.2.: Función de autocorrelación total (FAC) y parcial (FACP) (Elaboración propia).

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Modelo	Akaike AIC
SARIMA (0,1,1)(0,0,0)	-46.10026
SARIMA (1,1,0)(0,0,0)	4.528300
SARIMA (0,1,1)(0,1,1)	-201.3391
SARIMA (1,1,0)(1,1,0)	-71.10840
SARIMA (1,1,1)(1,1,1)	-199.4736

Tabla 4.3.: Valores del Criterio de Información de Akaike para diferentes modelos (Elaboración propia).

En concreto se observa como la función de autocorrelación total tiene el primer valor mayor que cero y todos los siguientes no son significativos o rebasan por muy poco el límite. Excepto en el retardo 5 y otros superiores, pero que no invalidan el comportamiento descrito, ya que como indica [Chatfield \(2004\)](#) al aumentar el número de cálculos es probable que algún valor sea significativo, no invalidando la hipótesis de aleatoriedad. Por el contrario, la función de autocorrelación parcial se observa que tiene un comportamiento senoidal amortiguado pero con varios valores mayores que cero.

Este correlograma, comparando con los métodos explicados en [Sanz \(2011\)](#), [Chatfield \(2004\)](#), [Pulido y López \(1999\)](#), [Pulido et al. \(2004\)](#) y [Quesada \(2011\)](#), corresponde con un proceso MA(1), es decir de medias móviles de orden 1. No terminaría aquí la identificación de la serie, ya que se debe tener en cuenta que para poder convertirla en estacionaria ha sido necesario eliminar la estacionalidad y diferenciarla una vez, por lo que en realidad se trata de un proceso SARIMA (0,1,1)(0,1,1).

No obstante, la forma adecuada de decidir qué tipo de proceso sigue la serie, y aprovechando la potencia de Gretl, es suponer varios casos y compararlos mediante el criterio de Información de Akaike. El proceso sería el siguiente. Por ejemplo, se puede calcular el correlograma de los datos en logaritmos pero sin diferencias, con diferencias de un grado o de dos, etcétera. Tras todos ellos, que no se aportan aquí por razones de espacio, se ha decidido, probar los siguientes modelos, SARIMA (0,1,1)(0,0,0) que es un proceso MA integrado una vez y sin estacionalidad, SARIMA (1,1,0)(0,0,0) que es un proceso AR integrado una vez y sin estacionalidad, SARIMA (0,1,1)(0,1,1) igual que el primero pero con estacionalidad (que es el que supone que será por lo expuesto en párrafos anteriores), SARIMA (1,1,0)(1,1,0) igual que el segundo pero con estacionalidad y por último SARIMA (1,1,1)(1,1,1) que es un modelo ARMA (1,1) integrado una vez y con estacionalidad.

Gretl ofrece los valores de los parámetros y de varios criterios para poder comparar. En este caso, los valores del Criterio de Información de Akaike para cada uno de ellos se muestran en la tabla 4.3.

Al tener que elegir el proceso con menor número, como se puede comprobar, es claro que tiene estacionalidad y se trataría de un proceso MA (1) e integrado una vez, aunque también se acerca a un ARMA, pero este último no se elige, además de por el criterio de

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Akaike, porque en el resto de información que ofrece Gretl, dos de las cuatro variables no son significativas.

Si se analiza la serie con el módulo de Gretl ARIMA X-12 y ARIMA X-13 – SEATS, los cuales eligen automáticamente el modelo, es SARIMA (0,1,1)(0,1,1) también el resultado obtenido.

Para el análisis manual, se continúa con los datos en primeras diferencias y estacionales.

La ecuación de un proceso MA(1) es la siguiente:

$$Z_t = \bar{Z}_t + V_t + \beta_1 \cdot V_{t-1} \quad (4.6)$$

La estimación de los parámetros de un proceso MA(1) es un proceso iterativo para el cual se debe recurrir a cálculos de ordenador, pero como una primera estimación se puede usar la siguiente fórmula procedente de las propiedades de este tipo de procesos:

$$r_1 = \frac{\beta_1}{(1 + \beta_1^2)}$$

De las soluciones que se obtengan se debe escoger la menor que uno en valor absoluto.

$$-0.4474 = \frac{\beta_1}{(1 + \beta_1^2)} \Rightarrow \beta_1 = -0.6186$$

Por lo que teniendo en cuenta que la media de la serie es 0, sustituyendo en la ecuación 4.6 el proceso tendría la siguiente ecuación:

$$Z_t = \bar{Z}_t + V_t + \beta_1 \cdot V_{t-1} \Rightarrow Z_t = 0 + V_t - 0.6186 \cdot V_{t-1}$$

Calculando el modelo con el programa Gretl, se observa que el resultado es muy similar, obteniendo -0.632253, siendo los resultados que ofrece los siguientes:

Modelo 1: ARMA, usando las observaciones 1991:02-2020:02 (T = 349)

Variable dependiente: sd\_d\_1\_v1

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coeficiente	Desv. Típica	z	Valor p
theta_1	-0.632253	0.0409201	-15.45	7.44e-054 ***
Media de la vble. dep.	-0.000595		D.T. de la vble. dep.	0.268637
media innovaciones	-0.000354		D.T. innovaciones	0.226374
Log-verosimilitud	22.99757		Criterio de Akaike	-41.99513
Criterio de Schwarz	-34.28499		Crit. de Hannan-Quinn	-38.92590

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

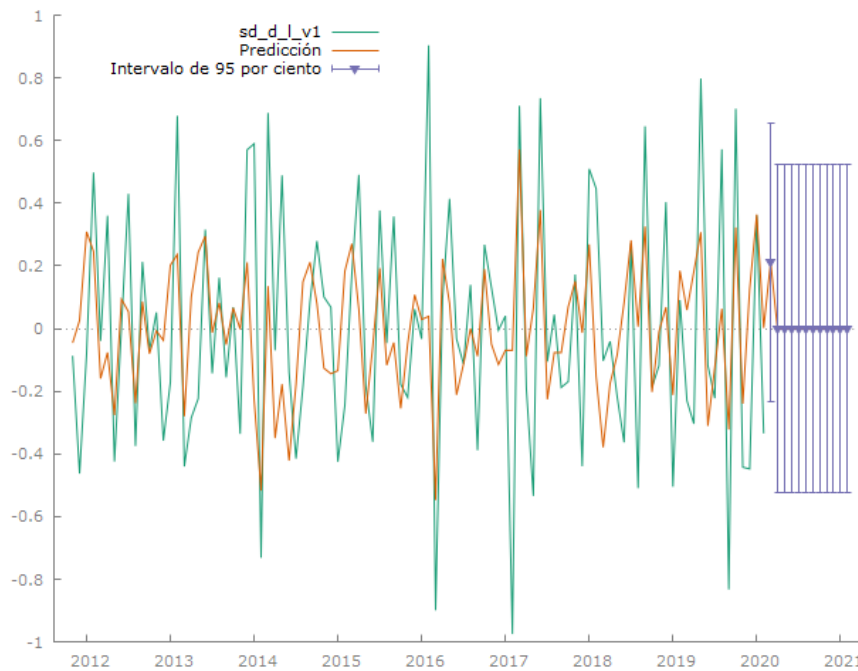


Figura 4.6.: Datos y predicción obtenida con Gretl con modelo MA(1) en datos transformados (Elaboración propia).

	Real	Imaginaria	Módulo	Frecuencia
MA				
Raíz 1	1.5816	0.0000	1.5816	0.0000

#### 4.2.3. Predicción de la serie licencias

En este apartado se hace la predicción de los valores para los 12 meses siguientes a los que termina la serie, es decir hasta julio de 2015. Se ha utilizado un modelo MA(1), para lo cual se utiliza la ecuación 4.6:

$$Z_t = \bar{Z}_t + V_t + \beta_1 \cdot V_{t-1} \Rightarrow Z_t = 0 + V_t - 0.632253 \cdot V_{t-1}$$

Donde la media es 0 y  $\beta_1$ , que es el coeficiente -0.632253 ofrecido por Gretl, el cual multiplica al error previo de la predicción. Esto hace que el único valor diferente de 0 sea el primero siendo los demás iguales a 0 como era de esperar. Estos modelos siempre prevén que la serie volverá a la media de los datos transformados, por lo que deberían volver a actualizarse los cálculos según se vayan obteniendo nuevos datos. En la gráfica 4.6 se ofrecen los resultados obtenidos con Gretl así como el intervalo de confianza.

Ahora es preciso deshacer las transformaciones que se han hecho en los datos. Para ello se sigue el proceso contrario, primero añadiendo la diferencia de estacionalidad,



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Fecha	Pred. DD12	Pred. D	Pred. Log	Pred. Unidades
mar-20	0,212413	0,26650394	8,593988356	5399
abr-20	0	-0,348555765	8,245432591	3810
may-20	0	0,567849593	8,813282184	6723
jun-20	0	-0,21716148	8,596120704	5411
jul-20	0	0,069125401	8,665246105	5798
ago-20	0	-0,30488009	8,360366015	4274
sep-20	0	-0,099128353	8,261237662	3871
oct-20	0	0,628370441	8,889608103	7256
nov-20	0	-0,360129807	8,529478296	5062
dic-20	0	-0,308335092	8,221143204	3719
ene-21	0	0,093994514	8,315137718	4085
feb-21	0	-0,251180097	8,063957621	3178

Tabla 4.4.: Transformación de valores y predicción de licencias (Elaboración propia).

luego deshaciendo la primera diferencia y luego elevando los valores al número  $e$  para eliminar el logaritmo. Para hacer estos cambios se utilizan los valores reales hasta febrero de 2020 y los predichos desde esa fecha. Los resultados se muestran en la tabla 4.4.

La predicción en Gretl se puede hacer directamente, aplicando a los datos originales sin transformar un modelo SARIMA (0,1,1) (0,1,1). Anteriormente se ha hecho a los datos en logaritmos. En realidad para Gretl es lo mismo, y para el análisis de predicciones es más visual. Se obtienen valores ligeramente diferentes si se aplica el módulo ARIMA X-12 y ARIMA X-13 - SEATS. No se aportan estos resultados numéricos, aunque sí la gráfica que los representa en la figura 4.7, que como se ve en ella los valores están sin transformar, y también se aportan los datos del modelo con los coeficientes obtenidos. Los resultados muestran un ligero repunte del número de licencias. Se debe tener en cuenta que el intervalo de confianza es tan amplio que podrían haber salido valores negativos, siendo el modelo totalmente válido. Lo que sí que muestra la predicción es que la recuperación será pequeña, incluso aunque se desvíe por la parte alta del rango del 95 %.

Modelo 3: ARIMA, usando las observaciones 1991:02-2020:02 (T = 349)

Variable dependiente: (1-L)(1-Ls) Licenciasnuevaplantaviviend

	Coeficiente	Desv. Típica	z	Valor p	
theta_1	-0.479593	0.0465325	-10.31	6.58e-025	***
Theta_1	-0.621776	0.0420104	-14.80	1.45e-049	***

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

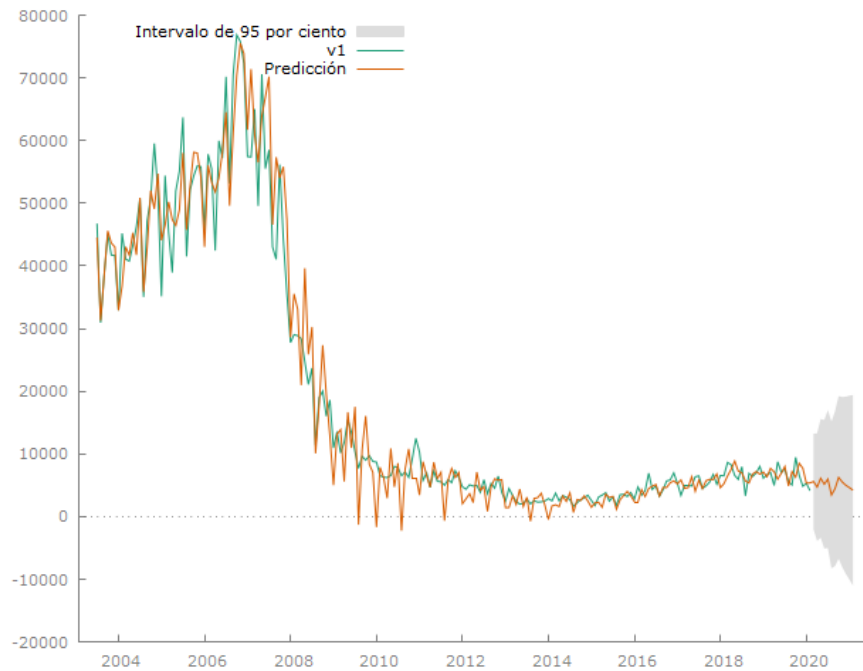


Figura 4.7.: Datos y predicción obtenida con Gretl con modelo SARIMA (0,1,1) (0,1,1) en datos sin transformar (Elaboración propia).

Se ha estudiado si los residuos del modelo se ajusten a la Normal, comprobándose que se ajustan muy bien con valor  $p$ , prácticamente 0 como se observa en la figura 4.8.

Para validar el modelo se debe aplicar el test de autocorrelación de Ljung-Box, en el que se comprueba si se puede rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación de los residuos, comprobando que el estadístico de Ljung-Box es menor que el valor de chi-cuadrado para los grados de libertad obtenidos de la resta del número de retardos considerados menos los valores de  $p$  y  $q$  del modelo ARIMA considerado. En este caso se ha hecho el test con 12 retardos, y los grados de libertad por lo tanto serán 10, por lo que el valor de chi cuadrado para 10 grados de libertad y un nivel de significación del 0,05 será 18,307 y del 0,01 será 23,209

Gretl calcula directamente el valor del estadístico de Ljung-Box, obteniéndose el siguiente resultado:

*Contraste de autocorrelación hasta el orden 12*

*Ljung-Box:  $Q' = 21.1984$ ,*

*con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(10) > 21.1984) = 0.01975$*

Como el valor de  $Q$  es mayor que 18,307 y menor que 23,209, no se puede rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación de los residuos dependiendo del valor  $p$  escogido, ya que es de 0,02, inferior al comúnmente escogido de 0,05. Por lo tanto no se tiene

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

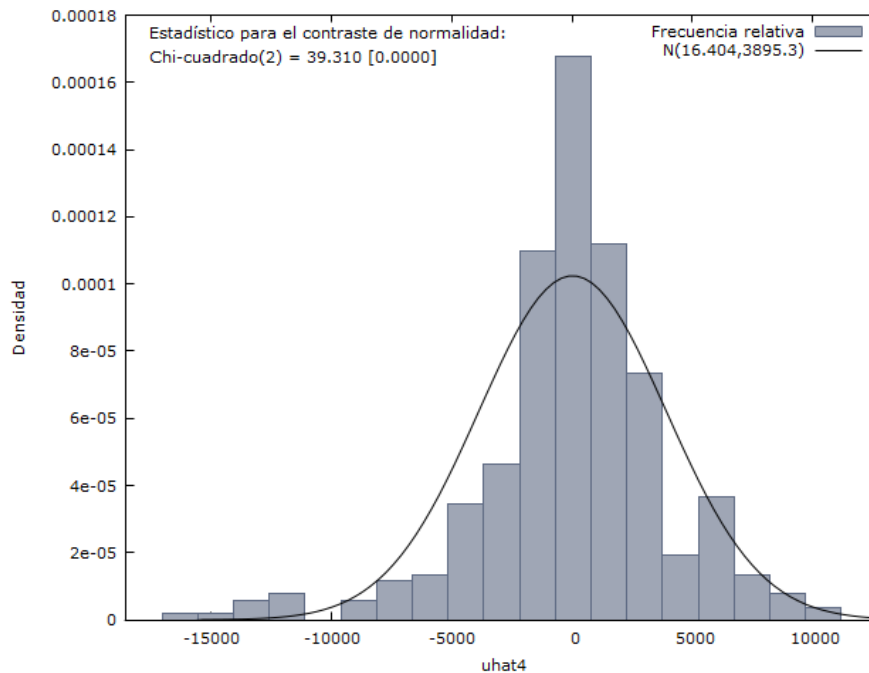


Figura 4.8.: Contraste de normalidad de los residuos (Elaboración propia).

suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, aunque está en el límite, por lo que se puede asumir que los residuos no están autocorrelacionados.

A continuación se aportan gráficas para comprobar la bondad de la predicción. En la figura 4.9 se ofrece la predicción obtenida contra los datos reales. Se puede comprobar que la predicción es muy buena con un rango pequeño de error en valor absoluto, aunque se conserva este rango cuando el valor disminuye por lo que el valor relativo aumenta.

Esto hace que para valores pequeños de licencias que son precisamente los que existen en el año 2020, las predicciones no tengan demasiado valor porque el rango hace que pudieran incluso salir valores negativos. En realidad esta situación se solucionaría eligiendo como datos de la serie únicamente los datos más modernos, por ejemplo desde el año 2009, que tienen todos menor valor absoluto, pero se perdería mucha información de la serie.

La figura 4.10 que representa los valores frente a su predicción independientemente del tiempo, también redundando sobre esta conclusión, ya que el rango es parecido tanto para valores altos como para valores pequeños. Pero como se ha indicado esto no invalida los resultados, sino que informa de que en los primeros doce meses el repunte de licencias no va a permitir volver a los grandes números previos a la crisis.

Además del test de autocorrelación de Ljung-Box que se ha comprobado anteriormente, se ofrecen también dos gráficas con los residuos de la regresión en las figuras 4.11 y 4.12 observándose que los errores son en general pequeños, obteniéndose las mismas

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

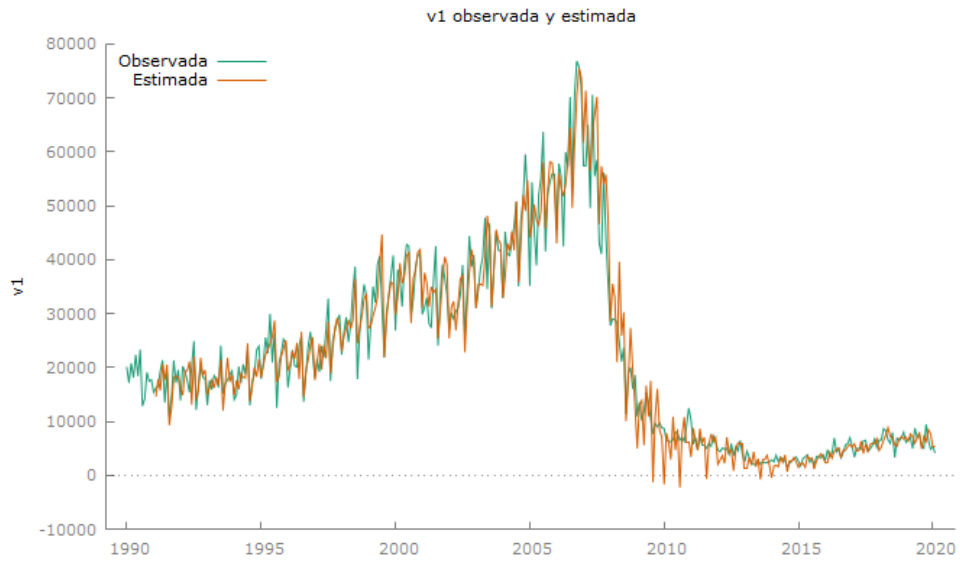


Figura 4.9.: Series estimada y observada en el tiempo (Elaboración propia).

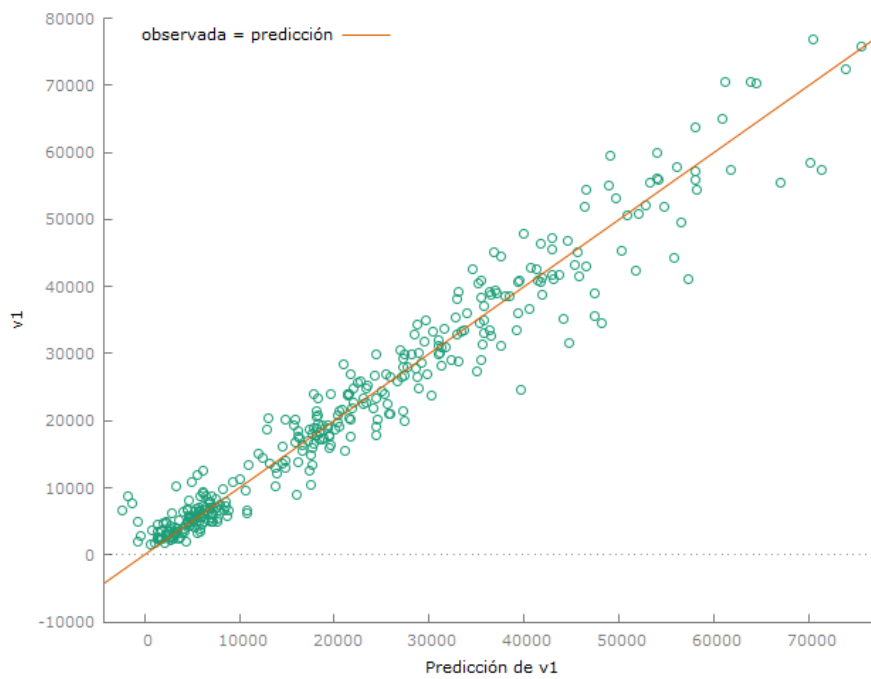


Figura 4.10.: Serie estimada frente a observada. (Elaboración propia)

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

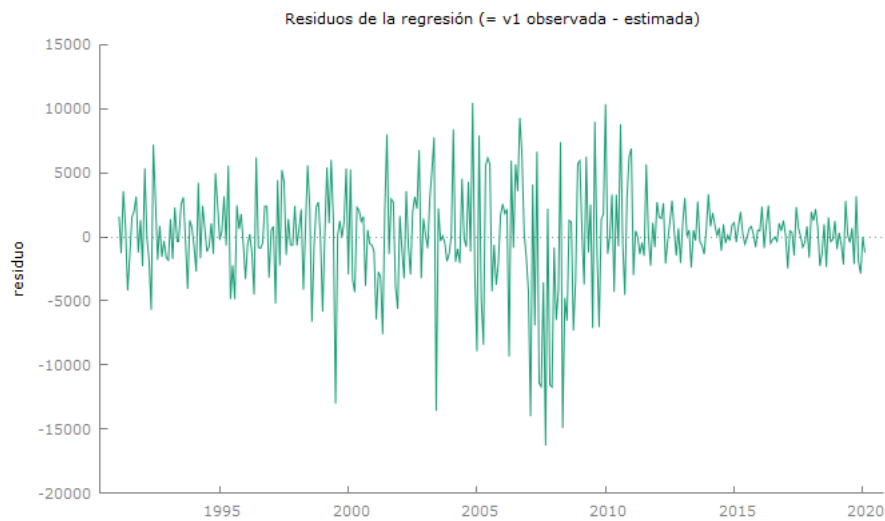


Figura 4.11.: Residuos de la regresión frente al tiempo. (Elaboración propia)

conclusiones que las anteriores.

El correlograma de los residuos se aporta en la figura 4.13. Como no son significativos, excepto el retardo 5, que está en el límite del 5% se puede dar el modelo como bueno, ya que el resto de retardos no son significativos.

### 4.3. ANÁLISIS DE LOS INGRESOS DE UN PROYECTO INMOBILIARIO

En la sección 4.2 se ha explicado la conveniencia de estudiar el estado del mercado inmobiliario antes de comenzar un proyecto. Si la conclusión a la que se llegara fuera que existe demanda para una nueva promoción en una determinada zona, se debe analizar si es rentable la promoción concreta que se quiere emprender. Para la valoración de un proyecto de cualquier tipo, y para los inmobiliarios en particular, se debe hacer una estimación de los flujos de caja, para lo cual es primordial el análisis de los ingresos que puede haber. No se trata en esta sección de indicar valores concretos sino de indicar cuáles son las posibles fuentes de ingresos que puede recibir un proyecto y caracterizarlos. Será en el capítulo 6 donde se elegirá un valor para un caso determinado.

Los ingresos en un proyecto inmobiliario pueden ser muy variados si el promotor tiene ideas e iniciativas. Los más importantes son las ventas, los alquileres o las subvenciones, que serán los que se traten más a fondo en esta Tesis, pero existen otros, como por ejemplo, la publicidad, cesión de espacios para colocar instalaciones, etcétera.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

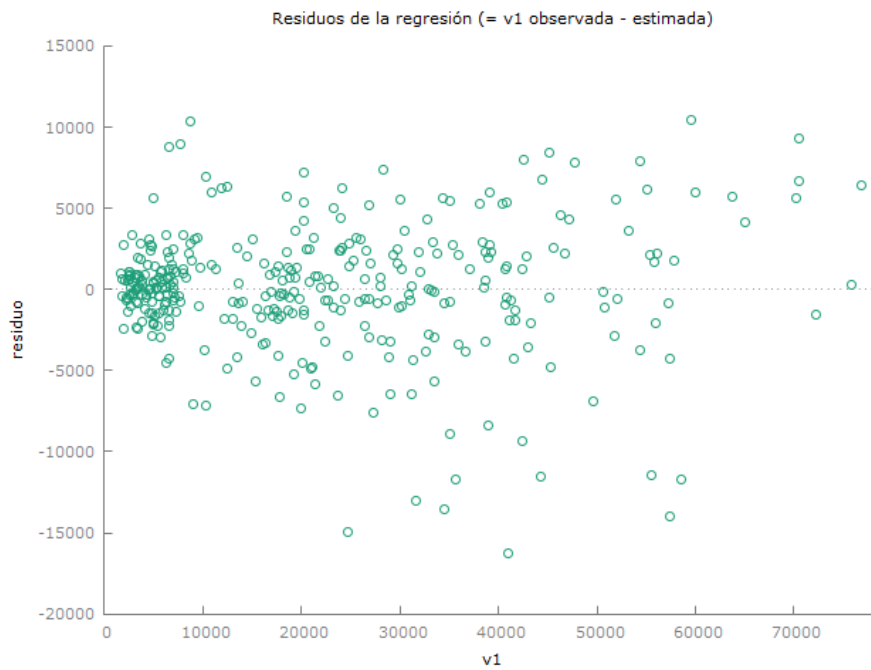


Figura 4.12.: Residuos de la regresión. (Elaboración propia)

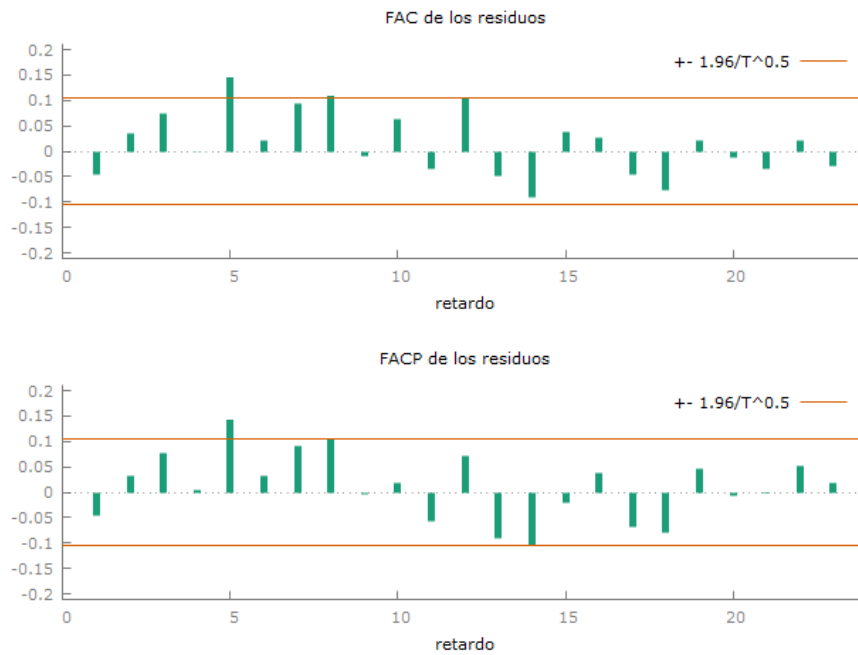


Figura 4.13.: Correlograma de los residuos de la regresión. (Elaboración propia)

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

### 4.3.1. Ventas

En la promoción inmobiliaria por excelencia, el objetivo es vender lo construido aunque no siempre, como más tarde se verá. Los precios de una vivienda se suelen expresar en €/m<sup>2</sup>, aunque este precio solo sirve para comparar con los precios de la competencia, y suele ser un precio que se usa entre los profesionales del sector, ya que el cliente, lo que necesita saber es el precio total en €/vivienda.

#### 4.3.1.1. Aclaraciones técnicas

En el caso de expresar el precio en €/m<sup>2</sup>, es fundamental aclarar de qué tipo de m<sup>2</sup> se está hablando. Los metros cuadrados pueden ser de tres tipos:

- Metro cuadrado útil. Como su nombre indica es la superficie que se puede utilizar, quiere decir, medida de puertas adentro y libre de tabiques, conductos, etc. Pero, aunque la definición parece clara, como es sabido, en España existen 17 comunidades autónomas, cada una con su normativa de habitabilidad, y algunas de ellas dentro de su normativa, descuentan dentro de la superficie útil, parte de la superficie de barrido de las puertas, zonas de baja altura, recovecos, etcétera, porque entienden que no puede ser utilizada. Esto puede ser discutible, ya que el barrido de puertas se utiliza para poder pasar, las zonas de baja altura pueden ser utilizadas como almacenamiento, etc. Lo que se quiere recalcar aquí es que es necesario saber qué comprende exactamente la definición de metro cuadrado útil en la comunidad autónoma concreta en la que se está construyendo.

Otro aspecto que se debe aclarar es cómo computan los metros cuadrados de superficie de terraza. Heredado de la normativa de Viviendas de Protección Oficial del año 1968 en la que se especificaba que las terrazas solo computan como superficie construida el 50 %, cuando no esté cerrada por paredes, puede existir confusión sobre si se ha aplicado el 50 % o no por lo que es preferible aclararlo colocando los dos valores por separado. Incluso hay normativas en las que dependiendo del tamaño no computan en absoluto, o dependiendo de la altura a la que está situado el balcón superior. La conclusión por tanto es que es imposible establecer una regla universal para la definición de metro cuadrado útil, aunque la más común es la ofrecida al inicio de este punto.

Lo expuesto hasta ahora se refería a viviendas, pero en garajes sigue también la confusión. La superficie útil es la que queda dentro de las líneas que delimitan la plaza de garaje. Pero no siempre es así, ya que en algunos municipios obligan a que las líneas de garaje estén libres de pilares u otros elementos que impidan la utilización por un coche que entre en línea recta y en otros admiten superficies que estén detrás de pilares ya que podrían ser utilizadas por bicicletas, motos, etc. Incluso en la normativa de Protección Oficial la superficie útil de la plaza de garaje incluye la parte proporcional de carriles de circulación, hasta un máximo de 25 m<sup>2</sup>. También es importante especificar la altura mínima computable, ya que en ocasiones hay plazas que tienen una gran superficie, pero al estar situadas bajo rampas de garaje tienen poca altura y no se debe tener en cuenta a la hora de

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

marcar el precio.

Por último, hay que comentar que, en los locales comerciales aunque el cliente esté comprando la superficie útil, esta superficie no será la que finalmente tendrá en su local ya que tendrá que construir más tabiques y elementos en el momento de distribuir su establecimiento.

- Metro cuadrado ocupado o construido de la vivienda. Es la superficie de puertas para adentro de una vivienda, pero incluyendo la de los tabiques, conductos, etcétera. En el caso de que un tabique sea medianero, es decir pertenezca a dos viviendas, se dividirá su superficie entre ambas viviendas. En España no suele ser utilizado como superficie de venta, pero sí en otros países, como Portugal, por lo que un cliente español podría cometer un error al comprar una vivienda en el país vecino, creyendo que compra una vivienda mayor que la que estaría comprando en España si no aclara esta circunstancia.

Para pasar de m<sup>2</sup> ocupado a útil de forma rápida y aproximada, se puede multiplicar por un factor aproximado de 0.90, sabiendo que es un valor que puede variar en función del tipo de construcción, de las fachadas y de la tabiquería.

En España suele ser utilizada como referencia para el cálculo de los coeficientes de propiedad horizontal y cálculo de las cuotas a pagar para el mantenimiento de la Comunidad de Propietarios.

- Metro cuadrado construido total. Es la superficie total incluyendo tabiques, conductos, y también la parte proporcional de zonas comunes del edificio, escaleras, ascensores, etcétera. Es similar a lo comentado para la superficie útil de los garajes de las Viviendas de Protección Oficial, pero en este caso añadiendo muros de sótano, pilares, etcétera.

También podría ser utilizada para el cálculo de los coeficientes de Comunidad. En ningún caso se utiliza como superficie de venta. Se utiliza para fines técnicos como estadísticos, comprobaciones, etcétera.

Para pasar de m<sup>2</sup> construido total a útil de forma rápida y aproximada, se puede multiplicar por un coeficiente que oscila entre 0,75 - 0,80, sabiendo que es un valor que puede variar en función del tipo de construcción, de las fachadas y de la tabiquería.

Un parámetro que no debe confundirse nunca con los anteriores son los metros cuadrados de edificabilidad. La edificabilidad es un concepto urbanístico que limita los metros cuadrados construidos totales, es decir, incluyendo elementos constructivos, zonas comunes, etcétera, pero solo por encima de la rasante. Esta definición varía en función del Plan General de Ordenación Urbana de cada localidad, por lo que es totalmente normal encontrar que en dos municipios colindantes, en uno de ellos no computa la superficie de vuelos y en el otro sí, o la superficie bajocubierta, o los semisótanos con alturas totalmente diferentes de unos a otros.

Todavía más, en determinados Planes Generales igualan el concepto de edificabilidad con el de aprovechamiento urbanístico, mientras que en otros no, llegando a computar



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

en unos como aprovechamiento incluso las zonas verdes privadas con coeficientes, una vez más, muy dispares, pudiendo alcanzar valores hasta de 0,25.

Lo explicado hasta ahora, sirve para hacer una reflexión. Un promotor a la hora de comprar un terreno deberá estudiar muy a fondo, ayudándose de técnicos como arquitectos o ingenieros, qué es lo que puede construir en el terreno. Muchos promotores en los tiempos del auge inmobiliario hacían cuentas de explotación en las que estaba erróneo hasta el número de viviendas máximo. En determinados Planes Generales viene limitado el número de viviendas en la ficha correspondiente a la Unidad de Ejecución, pero no así en otros, que puede venir derivado de un factor que se encuentra incluido dentro del texto del Plan General y pasar inadvertido o también no existir tal limitación. La inversión en un estudio previo a la compra es fundamental para el éxito final.

##### 4.3.1.2. Precios

Para elegir los precios de una promoción es fundamental realizar un estudio de mercado previo. Son muy numerosos los factores que influyen en el precio de una vivienda, e incluso pueden ser diferentes según el público objetivo. A continuación se va a hacer una enumeración no exhaustiva de factores con una breve explicación:

- **Tamaño de la vivienda.** No se refiere a que a mayor número de metros cuadrados mayor precio, que resulta obvio. La relación entre el precio y tamaño puede ser directa en determinada zona del rango de tamaño, pero llega un momento en que aumentar el tamaño de la vivienda no repercute directamente en el precio porque ese aumento no es apreciado para el usuario que tiene suficiente con menos superficie. Lo mismo ocurre por la parte baja, disminuir el tamaño por debajo de ciertos valores puede hacer que los precios caigan exponencialmente y no proporcionalmente, ya que puede verse la vivienda como una infravivienda. El rango de tamaños óptimo depende del usuario al que vaya destinada la promoción. Es decir, no es lo mismo una zona céntrica de Madrid, en la que se puede esperar un cliente que busca un producto exclusivo y grande, que un barrio periférico, en el que el cliente será joven, con escasos recursos, y probablemente con dos hijos o esperando tenerlos, por lo que necesitará tres habitaciones con posibilidad de colocar mesa de estudio.

En este campo además, las conclusiones que puedan obtenerse en un estudio de mercado no son inmutables en el tiempo, por ejemplo, en España se ha detectado un aumento de la demanda de pisos de cuatro habitaciones para familias de dos hijos para poder instalar un estudio con los ordenadores y no tener que hacerlo en el salón o en las habitaciones de los niños y de esta manera poder trabajar los padres y controlar el uso de internet que hacen sus hijos.

- **Altura.** Prácticamente todos los clientes prefieren mayor altura y están dispuestos a pagar por ello. Alejarse del ruido de la calle, pese a la mejora de los aislamientos, es algo fundamental para muchos clientes. Existe un pequeño número de ellos que preferirá plantas bajas por razones médicas, como vértigos, o por rapidez de acceso a la calle sin usar ascensores, pero son mínimos en el porcentaje total.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

El promotor debe aprovechar esto y hacer un precio diferente para cada planta del edificio, de forma que también el comprador sea todavía más consciente del valor de la altura y esté dispuesto a pagar más.

- **Orientación.** No se puede decir qué orientación es la mejor sin hacer un estudio de la climatología del lugar o de otras características propias del terreno, como pueden ser vistas desagradables, vistas al mar, etcétera. Es decir, en las zonas de España muy cálidas se valorará la orientación norte para evitar el calor, ya que la luminosidad es suficiente. Por el contrario en las zonas templadas o frías se valorará la orientación sur. En la mayor parte de las zonas es muy valorada la orientación este, con sol por la mañana, y se penaliza mucho la orientación oeste, ya que durante la tarde que es el momento más caluroso del día, el sol está muy bajo y calienta todavía más, por lo que es claramente peor que la orientación sur, en la que durante el mediodía, el sol al estar en lo más alto, calienta menos la fachada.

Todos estos factores climatológicos “desaparecen” si existen vistas agradables como el mar, un parque o montañas; o desagradables, como medianeras, fábricas, calles ruidosas, etcétera. La orientación es muy importante, pudiendo hacer que una promoción sea invendible o un éxito total.

- **Ubicación.** Está muy relacionada con la orientación, pero por supuesto no es lo mismo. Una buena ubicación puede ser fruto de que sea posible tener una buena orientación para alguna de las fachadas, pero puede ser que no para todas. Además, la ubicación es también muy subjetiva dependiendo del cliente. Una familia con hijos valorará la cercanía a un colegio, fácil acceso en coche o transporte público o cercanía de parques, pese a estar más alejado del centro. Una persona mayor valorará más la situación céntrica de la ciudad, centros médicos, etcétera.
- **Distribución interior.** Además del tamaño es importante el número de dormitorios, posibilidad de colocación de mesas de estudio, número de cuartos de baño, cocina integrada en el salón o separada, despensa, lavadero; para determinados clientes, habitación del empleado de hogar separada del resto; tamaño de las terrazas y posibilidad de comer o cenar en ellas, etcétera.
- **Servicios comunes dentro de la comunidad.** Instalaciones deportivas como piscinas, gimnasios o sauna, sala para celebración de fiestas o reuniones, zonas verdes y jardines, etcétera, son muy apreciadas por la mayoría de los clientes, y son muy pocos los que creen que los incrementos en el pago de las cuotas de comunidad hagan que sea mejor no tener estos servicios. Por el contrario, sí que hay mayor variedad de opinión en la existencia de un portero o de seguridad privada las 24 horas. Este servicio es muy bien valorado por todo el mundo, pero su elevado coste puede hacer que determinadas personas prefieran una promoción sin este servicio. Tampoco es posible hacer una valoración universal, ya que dependerá el valor final de la repercusión por vivienda del número de viviendas totales.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

- **Diseño exterior.** El diseño exterior es un factor importante pero posiblemente después de los anteriores. Es decir, un buen diseño, moderno o vanguardista, puede hacer que una ubicación mala mejore, pero hay que tener cuidado porque nunca la hará buena. Es decir, para una misma ubicación y entre dos promociones distintas no hay duda de que un buen diseño hará que el precio se incremente, o visto de otra manera, que sea más fácil vender que la competencia, pero si al cliente no le gusta la ubicación o sus necesidades no son las que se ofrecen, no comprará la vivienda.

El diseño exterior es tan importante que influye en el tamaño y forma de las terrazas, ventanas e incluso de las habitaciones, que como se ha explicado antes son fundamentales también para el precio.

Un buen diseño no tiene por qué suponer siempre un aumento de costes, ya que no se basa solo en la utilización de materiales caros, sino que se fundamenta en juegos de volúmenes, diferentes texturas o colores. No cabe duda de que contar con un buen arquitecto es fundamental para este punto.

- **Materiales exteriores e interiores.** También conocido como la memoria de calidades de una promoción, son un factor importante en el precio. La utilización de materiales nobles hará que el precio de la vivienda se incremente. Se debe tener en cuenta que hay materiales que hace años se veían como de valor añadido, como el parqué, en cambio hoy se ven como básicos. La experiencia indica que los clientes, en cuanto a valoración de materiales se refiere, suelen ser muy tradicionales y tienen miedo de materiales innovadores por temor a una mala conservación o envejecimiento. Quiere esto decir que se debe ser cuidadoso con la introducción de materiales nuevos para diferenciarse porque puede ser contraproducente. Un ejemplo bueno puede ser la utilización de piedras sintéticas en cocinas que al principio no tenían gran aceptación por miedo a su conservación, aunque hoy prácticamente han sustituido a las naturales.
- **Domótica e instalaciones.** Aunque este punto está incluido en la memoria de calidades se ha separado por su gran importancia en la actualidad. Hace unos años, quizá la única instalación que el cliente percibía era la cocina, pero hoy esto ha cambiado, siendo muy importantes las instalaciones como aire acondicionado y la domótica. La domótica tiene un campo de actuación muy amplio. En sus inicios se limitaba a subida automática de persianas o apagado de luces por presencia. Hoy se pueden citar por ejemplo, iluminación gradual en función de luz exterior, detección de averías e inundaciones, encendido de todos los electrodomésticos mediante el teléfono móvil desde fuera de casa, detección de intrusión en la vivienda, análisis de consumo energético y su optimización, encendido de luces por escenas, y la posibilidad de adaptarse a cualquier necesidad del usuario.
- **Calificación energética.** Tras unos años en los que la calificación energética ha sido vista como algo impuesto y que no aportaba ningún valor, esta percepción ha cambiado radicalmente, y ya no solo es que el cliente valore la calificación de la vivienda, sino que un amplio número de clientes solo busca calificación energética

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

A. La obtención de esta máxima calificación no es fácil y viene determinada por factores como materiales de aislamiento, tratamiento de puentes térmicos y diseño exterior. Su obtención incrementa el precio de la vivienda, pero hay clientes que no solo buscan precio y por lo tanto esto debe ser analizado convenientemente. Otro parámetro muy relacionado con la calificación energética pero que no debe confundirse con ella, es el de consumo energético del edificio que también está comenzando a ser diferenciado y valorado por los clientes.

- Modas y publicidad. Y para finalizar esta relación no exhaustiva se ha elegido el de las modas y la publicidad. De la lectura de los puntos anteriores se ha podido comprobar que las preferencias de los clientes cambian con el tiempo, incluso de forma muy rápida como el ejemplo de la calificación energética. Pero también ocurre con otras como la ubicación, un barrio puede ponerse de moda por la instalación de un centro comercial, o la construcción de un parque o incluso sin motivo aparente, y puede dejar de estarlo rápidamente.

La publicidad puede hacer cambiar las percepciones de los clientes, pero no de forma radical. Es más, la publicidad del producto inmobiliario es peculiar porque se trata de un producto del que gran parte del público que la recibe no es público objetivo por lo que la elección del canal es fundamental y debe ser adaptada a las costumbres locales. No es posible en esta Tesis profundizar más en el tema, pero sí indicar que debe ser tratada con la importancia que merece en cualquier promoción, ya que una mala publicidad puede ser la causa del fracaso de la promoción.

Todos los puntos anteriores influyen sobre el precio medio de la vivienda y ayudan a concretarlo para cada promoción y para cada vivienda en particular, pero nada tienen que ver sobre la evolución del precio medio de la vivienda sobre el que no se puede influir porque depende de factores externos.

##### 4.3.1.3. Evolución del precio de la vivienda en España.

La visión de la evolución del precio de la vivienda en España en la segunda década del siglo XXI es radicalmente diferente que la de la primera. Lejos han quedado aquellos comentarios sobre que los precios de la vivienda jamás bajaban, creídos tanto por personas sin conocimientos económicos, como por promotores con experiencia, lo que es más grave.

En la sección 4.2.3 se ha desarrollado paso a paso la predicción de la serie licencias de viviendas concedidas por los Ayuntamientos. Como se ha explicado, el programa Gretl permite poner en práctica de manera muy rápida este método, calculando las diferencias estacionales y primeras diferencias, el correlograma, los parámetros y las predicciones. Incluso el módulo X-12 ARIMA detecta automáticamente el tipo de proceso al que pertenece la serie con iteraciones, sin que el operador tenga que analizar el correlograma o los posibles modelos con el criterio de información de Akaike. Por supuesto esto es muy peligroso si lo aplica una persona sin experiencia y sin observar los datos y los pasos intermedios. En este apartado se ha hecho un análisis más rápido que el anterior del precio de la vivienda en España, con el fin de tener información de cómo pueden variar

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

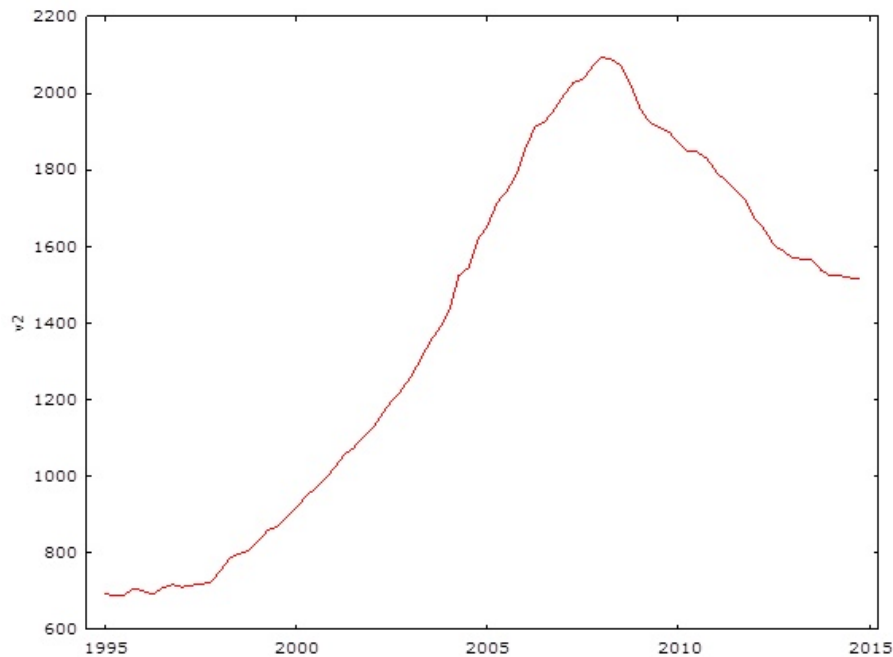


Figura 4.14.: Precio medio de la vivienda menor de 2 años en euros por metro cuadrado (Elaboración propia y Banco de España, 2015).

los precios. Los datos se han obtenido de la serie 1.204.918 del Banco de España (2015), correspondiendo cada dato con el precio medio de la vivienda libre menor de 2 años de antigüedad. Los datos son trimestrales y están disponibles hasta diciembre de 2014. Se muestran en la figura 4.14. Es importante indicar que esta serie dejó de publicarla el Ministerio de Fomento, del cual tomaba los datos el Banco de España, sustituyéndola por el precio de viviendas menor de 5 años. Debido a que los datos solo alcanzan hasta marzo de 2013 y que los nuevos datos no son comparables en valores absolutos, se ha realizado el análisis con la antigua serie y se va a aprovechar esta circunstancia para comprobar cómo se comporta la predicción de Gretl efectuando la predicción desde 2014 comparando con la tendencia de la nueva serie. Es interesante comentar que se han mantenido estables entre 1710 €/m<sup>2</sup> de valor mínimo en marzo de 2014 y un valor máximo de 1911 €/m<sup>2</sup> en diciembre de 2019, fecha en la que ha comenzado a descender suavemente. La única conclusión que se puede extraer es que han aumentado un 10% en 6 años, pero se reitera que no se pueden comparar los valores absolutos.

Como se puede comprobar el aumento de los precios en un 300% en 10 años comenzó en el año 1998 y acabó en el año 2008. Llama mucho la atención este dato de la finalización, ya que cuando la concesión de licencias llevaba más de un año bajando y por lo tanto disminuyendo la actividad, todavía los precios seguían aumentando. Este hecho es un indicador de lo que ocurre en situaciones de "burbujas" porque la gente sigue comprando aunque no haya nada que lo sustente. Pero todavía más llamativo es lo lento

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

que desciende el precio, al contrario de lo que sucede en una situación de “burbuja”. Este hecho se debe a varios factores, pero uno de los más importantes se debe a que para los promotores es imposible en muchos casos bajar el precio de las viviendas debido a que las viviendas las tienen hipotecadas por un valor y no pueden venderlas por precio menor que el de hipoteca porque en caso de venta tendrían que poner dinero ellos mismos. Por supuesto esta situación es insostenible porque también tienen que pagar intereses, y al final esta situación se prolonga hasta que se alcance un acuerdo con el banco o quiebre la empresa promotora, que es lo que ocurre en numerosas ocasiones.

También se observa que los precios han descendido pero no tanto como cabría esperar. Esto se debe a que estos datos corresponden a viviendas menores de 2 años y la mayor parte de las viviendas que se venden en España son mayores a 2 años porque corresponden al mercado de segunda mano o al stock de los bancos.

Pero se ha preferido escoger esta serie como representativa del estado del mercado de la vivienda porque si un promotor decide emprender una nueva promoción será este el precio al que podrá venderla. Se debe tener en cuenta que el único mercado que está funcionando actualmente es de viviendas de clase media – alta estando copado el mercado de media y media – baja por el stock de los bancos, que es de segunda mano y no entran en esta serie, y por esta razón estos precios también son más elevados.

Como conclusión de todo lo anterior, se puede decir que el precio de la vivienda en España ha disminuido más que lo que refleja la serie anterior, y de hecho si se consulta la serie correspondiente del Banco de España así lo corrobora, pero la que realmente refleja las expectativas de los promotores es la de precio de vivienda menor de 2 años, eso sí, sabiendo el mercado al que va dirigido, es decir, viviendas bien situadas y con calidades medias altas, o altas, mientras que los otros mercados están copados por los bancos y no reflejan la realidad del sector, los cuales volverán a su situación normal cuando finalice el stock que poseen.

Por lo tanto, y comenzando ya con el tratamiento de la serie, en primer lugar se debe convertir la serie en estacionaria. Al igual que en la serie licencias, se va a aplicar el contraste aumentado de Dickey-Fuller para comprobar si es estacionaria.

En este caso se comprueba que no hay estacionalidad. Esto concuerda con lo esperado ya que no tendría sentido que un mercado como el de la vivienda cambiara sus precios en las vacaciones, salvo como mucho en alguna zona turística.

Para eliminar la tendencia se van a aplicar filtros a los datos en logaritmos. En la figura 4.15 se observa la representación de los datos tras la transformación logarítmica. El test de Dickey-Fuller con los precios directos o en logaritmos, indica que no es estacionaria.

En este caso como no existe estacionalidad el filtro aplicado será el de la primera diferencia.

$$D_t = \ln x_t - \ln x_{t-1} \quad (4.7)$$

En la figura 4.16 se ofrece el gráfico de los datos con la primera diferencia. El test de Dickey-Fuller aporta la siguiente información.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

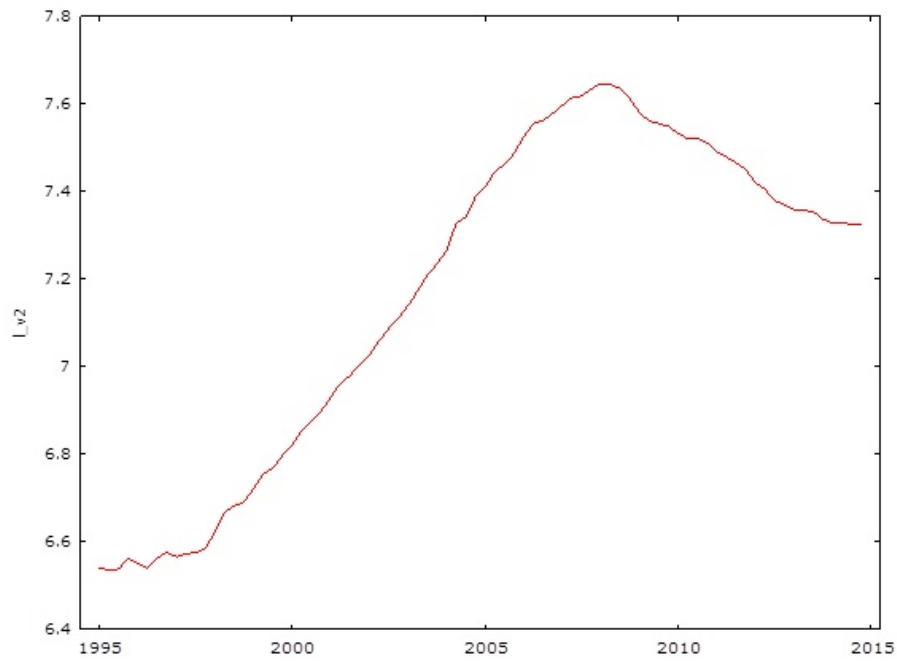


Figura 4.15.: Logaritmo del Precio medio de la vivienda menor de 2 años (Elaboración propia).

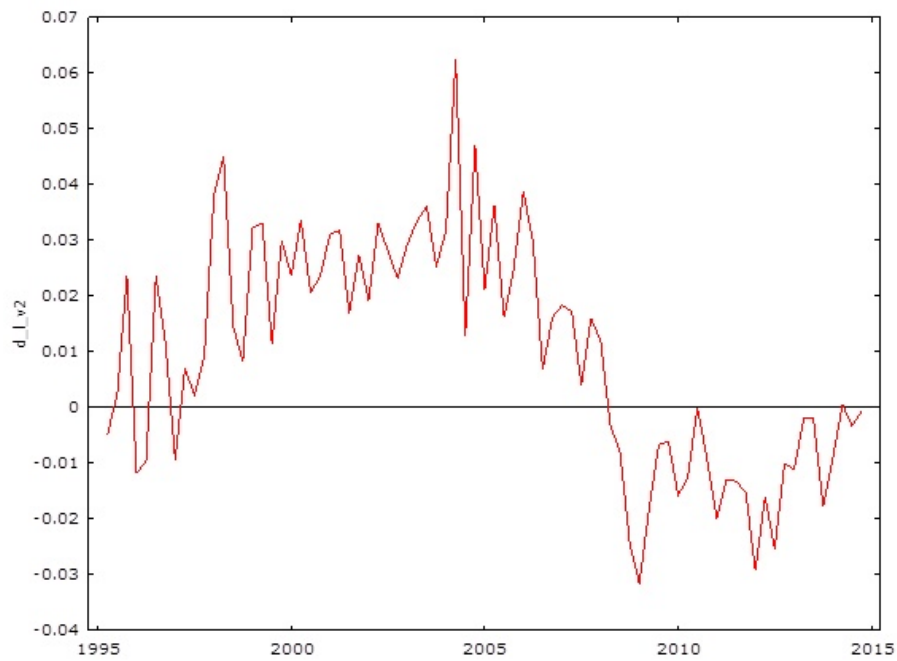


Figura 4.16.: Primeras diferencias del logaritmo del precio medio de la vivienda menor de 2 años (Elaboración propia).

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

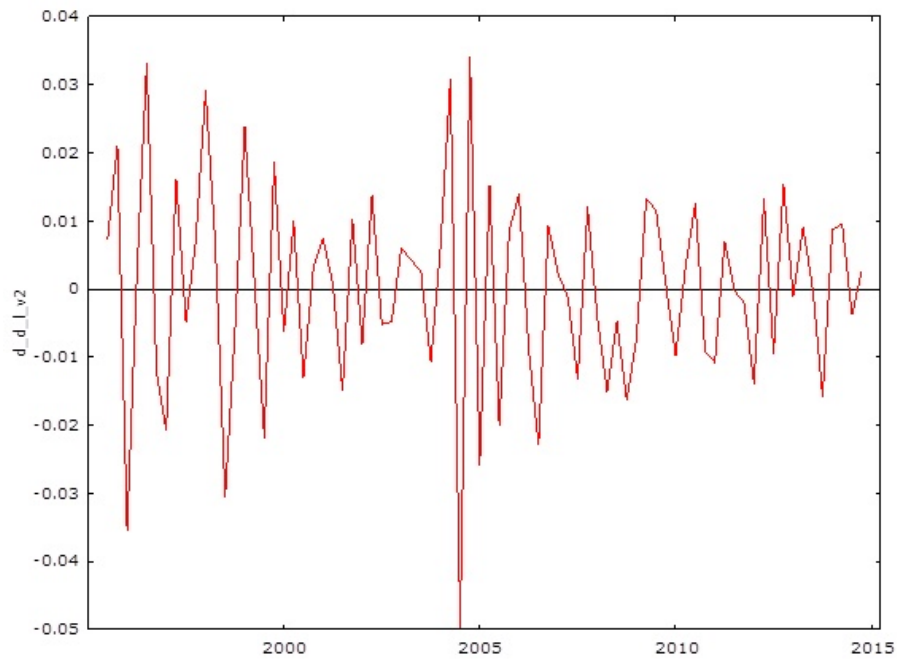


Figura 4.17.: Segundas diferencias del logaritmo del precio medio de la vivienda menor de 2 años. (Elaboración propia)

*tamaño muestral 68*

*hipótesis nula de raíz unitaria:  $a = 1$*

*contraste con constante*

*valor estimado de  $(a - 1)$ : -0.119202*

*Estadístico de contraste:  $\tau_c(1) = -1.34745$*

*valor p asintótico: 0.6095*

*con constante y tendencia*

*valor estimado de  $(a - 1)$ : -0.205249*

*Estadístico de contraste:  $\tau_{ct}(1) = -2.1089$*

*valor p asintótico: 0.5403*

Como se puede comprobar, tanto gráficamente como con el test de Dickey-Fuller con valores p mucho mayores que 0,05, no ha desaparecido la tendencia totalmente, por lo que se debe aplicar otra segunda diferencia, que dado que parece que no hay estacionariedad, será también en primeras diferencias, pero con los datos ya transformados. La ecuación de diferenciación es la siguiente:

$$Z_t = DD_t = D_t - D_{t-1} \quad (4.8)$$

En la figura 4.17 se ofrece el gráfico de los datos con la segunda diferencia. Los valores del test de Dickey-Fuller son los siguientes:



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

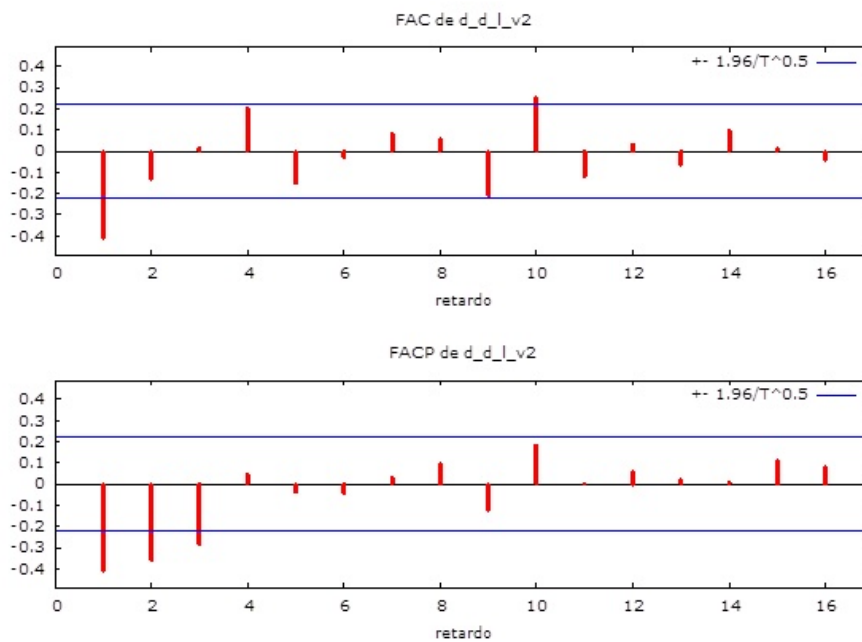


Figura 4.18.: Correlograma del precio medio de la vivienda menor de 2 años en segunda diferencia de logaritmo de euros (Elaboración propia).

*tamaño muestral 75*

*hipótesis nula de raíz unitaria:  $a = 1$*

*contraste con constante*

*valor estimado de  $(a - 1)$ : -2.4179*

*Estadístico de contraste:  $\tau_c(1) = -8.77185$*

*valor p asintótico:  $2.412e-015$*

*con constante y tendencia*

*valor estimado de  $(a - 1)$ : -2.43614*

*Estadístico de contraste:  $\tau_{ct}(1) = -8.79215$*

*valor p asintótico:  $3.515e-015$*

Como se puede comprobar ahora, tanto gráficamente como con el test de Dickey-Fuller en el que los valores de p son prácticamente iguales a cero, ya se ha conseguido que la serie sea estacionaria. La media es constante e igual a  $5,3622e-005$ , es decir, prácticamente cero, y la varianza, si bien en los datos más recientes es más pequeña que en los datos más antiguos, se puede considerar que está estabilizada, por lo que se puede concluir que la serie ahora es estacionaria en media y varianza, y puede continuarse con el análisis. El correlograma de la serie calculado con el programa Gretl es el de la figura 4.18.

Como se puede comprobar corresponde claramente con un proceso MA(1), al tener

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Modelo	Akaike AIC
SARIMA (0,2,1),(0,0,0)	674.4082
SARIMA (1,2,0),(0,0,0)	679.8585
SARIMA (1,2,1),(0,0,0)	676.3418
SARIMA (0,2,1),(0,2,1)	674.8232
SARIMA (0,1,1),(0,0,0)	737.2074
SARIMA (1,1,1),(0,0,0)	683.3959

Tabla 4.5.: Valores del Criterio de Información de Akaike para diferentes modelos (Elaboración propia).

solo un valor significativo en los factores de autocorrelación total y estar los parciales con reducción senoidal y siendo varios significativos. Es el mismo que se ha visto para las licencias concedidas. Pero hay que recordar que la serie estaba en segundas diferencias, y que no tiene estacionalidad, por lo que el proceso sería siguiendo la notación tradicional un SARIMA (0,2,1),(0,0,0), o lo que es lo mismo, como no hay estacionalidad, ARIMA (0,2,1). No obstante, y por asegurar el resultado se van a probar varias opciones y se van a analizar con el criterio de información de Akaike. Los casos que se van a analizar y los valores del Criterio de Información de Akaike obtenidos con Gretl para cada uno de ellos se muestran en la tabla 4.5.

Para validar el modelo se debe aplicar también el test de autocorrelación de Ljung-Box, en el que se comprueba si se puede rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación de los residuos, comprobando que el estadístico de Ljung-Box es menor que el valor de chi-cuadrado para los grados de libertad obtenidos de la resta del número de retardos considerados, menos los valores de p y q del modelo ARIMA considerado. En este caso se ha hecho el test con 12 retardos, y los grados de libertad por lo tanto serán 11, por lo que el valor de chi cuadrado para 11 grados de libertad y un nivel de significación del 0,05 será 19,6751.

Gretl calcula directamente el valor del estadístico de Ljung-Box, obteniéndose el siguiente resultado:

*Contraste de autocorrelación hasta el orden 12*  
*Ljung-Box  $Q' = 10.4217$ ,*  
*con valor  $p = P(\text{Chi-cuadrado}(11) > 19.6751) = 0.4929$*

Como el valor de Q es menor que 19,6751, no se puede rechazar la hipótesis nula de no autocorrelación de los residuos. La misma conclusión se obtiene del valor p, es decir, al ser mayor que 0,05 no se tiene suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede asumir que los valores no están autocorrelacionados.

Analizando la serie con el programa ARIMA-X-12 se obtiene también la misma elec-

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

ción de forma automática.

A continuación se aportan los resultados completos que ofrece Gretl para el modelo elegido:

Modelo 1: ARIMA, usando las observaciones 1995:3-2014:4 (T = 78)

Variable dependiente:  $(1-L)^2 v_2$

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coefficiente	Desv. Típica	z	Valor p
theta_1	-0.550005	0.0889736	-6.1817	<0.00001 ***

Media de la vble. dep.	0.030769	D.T. de la vble. dep.	20.58630
media innovaciones	-0.054896	D.T. innovaciones	17.74742
Log-verosimilitud	-335.2041	Criterio de Akaike	674.4082
Criterio de Schwarz	679.1216	Crit. de Hannan-Quinn	676.2950

	Real	Imaginaria	Módulo	Frecuencia
MA				
Raíz 1	1.8182	0.0000	1.8182	0.0000

En la figura 4.19 se aporta el gráfico de la previsión del precio según el modelo ARIMA (0,2,1) para ocho trimestres, es decir dos años, aunque en las previsiones más allá de un año presentan poca fiabilidad porque es probable que haya más cambios en la economía que modifiquen el comportamiento de la serie.

Como se puede comprobar la previsión dice que el precio siga descendiendo aunque muy lentamente o que se considere estabilizado.

Es importante destacar como aumentan las bandas del intervalo de confianza según van aumentando los trimestres de manera que a partir del primer año es tan grande que se puede considerar que la predicción carece de valor. Lo que está claro es que durante el primer año no es previsible ni un gran repunte ni desplome de la vivienda, y así mismo también se puede concluir que no ha habido un cambio de ciclo en el precio de la vivienda. En cualquier caso sí que se puede concluir que no sigue el descenso y que el precio estaría estabilizado, lo cual podría hacer que posibles compradores que están esperando a comprar en el momento en que el precio de la vivienda toque suelo, podrían entrar al mercado ya que parece que este momento ha llegado.

Como se ha comentado, se tienen los datos de la nueva serie que publica el (Ministerio de Fomento, 2016) con los datos de precio de viviendas menores de 5 años que solo alcanzan hasta marzo de 2013. Los datos desde marzo de 2015 hasta diciembre de 2016 han crecido desde 1723,80 €/m<sup>2</sup> hasta 1764,20 €/m<sup>2</sup>, es decir, han aumentado el 2,3 %, que es el dato que se puede aprovechar ya que los datos en valores absolutos no son comparables porque no provienen de la misma serie. Se comprueba que la predicción ha sido muy buena.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

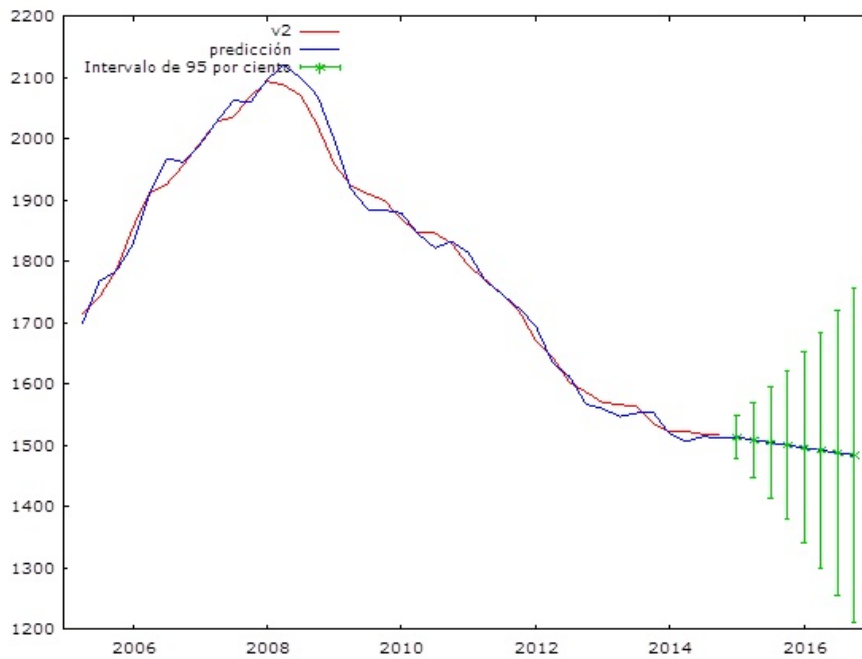


Figura 4.19.: Previsión del precio medio de la vivienda menor de 2 años en euros (Elaboración propia).

#### 4.3.2. Alquileres

En esta sección podría hacerse el mismo análisis que en el de los precios de venta. Por ejemplo, el INE, Instituto Nacional de Estadística, ofrece series mensuales sobre el aumento de precio de los alquileres desde el año 2001 hasta la actualidad. En este caso no se va a efectuar el análisis ARIMA ya que en el ejemplo que se analiza en la Tesis no se contemplan alquileres, pero son de gran importancia, ya que aunque existen muchas promociones en las que no hay alquileres, hay otras en las que el destino será el 100 % para alquiler.

El alquiler por excelencia es el del centro comercial, en el que generalmente no se vende la superficie, aunque no es raro que parte del centro se venda para una gran superficie. La denominación de la superficie cambia respecto a la de venta, y se encuentran generalmente dos tipos. La más común es la de superficie bruta alquilable, en la que solo se incluye la superficie de puertas hacia dentro de cada uno de los locales comerciales, incluyendo los posibles tabiques que existan, dentro del local. También se puede alquilar por superficie útil alquilable. Los precios dentro de un centro comercial tienen una variación muy grande, dependiendo de varios factores, parte de los cuales se explican a continuación:

- Ubicación. Es fundamental. Casi podría decirse que es el único. Dentro de la ubicación se puede concretar con los siguientes puntos:

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

- Cercanía a establecimiento “ancla”. El establecimiento “ancla” o atractor es aquel que atrae al público en general y que, una vez que ha entrado en el centro comercial por esa tienda, puede seguir comprando en otros establecimientos. Este tipo de establecimientos son las grandes cadenas internacionales, como H&M o Zara por citar algunas, o un hipermercado generalista como Eroski o Carrefour. Nadie visitaría un centro comercial con el fin de comprar chucherías o ir a la peluquería, pero si acude por visitar algunos de los comercios anteriores, una vez allí, podrá ir a los otros establecimientos. Por supuesto, cuanto más cerca esté situado un local de la entrada de los establecimientos “ancla” mucho mayor será su precio de alquiler. El promotor tendrá que valorar cuánto es este aumento de valor.
- Planta. En centros comerciales con varias plantas el valor es muy diferente entre las plantas bajas y las más elevadas. Pese a que obviamente habrá ascensores o escaleras mecánicas, las visitas a las plantas altas serán mucho menores que a las plantas bajas. Una forma de evitar este fenómeno consiste en la ubicación de los establecimientos de ocio en las plantas más altas, como restaurantes, bares o cines. En este caso, la atracción de estos establecimientos permite que las personas lleguen hasta estas plantas. Si no se hiciera así, las plantas altas estarían condenadas seguramente al fracaso. El promotor debe valorar de esta forma el precio del local comercial.
- Cercanía a la entrada desde el aparcamiento o entrada desde transporte público. Son lugares de paso casi obligado para todos los clientes y por lo tanto su valor debe ser mayor. También se puede estudiar la posibilidad de instalación de locales comerciales en el propio aparcamiento dedicados a servicios al automóvil.
- Tamaño. Los locales comerciales más grandes tienen menos posibilidades de ser alquilados porque los negocios que necesitan gran superficie son más escasos que los de locales pequeños. Dependiendo del tipo de negocio, no se aprovecharán los metros cuadrados adicionales a los que necesita, por lo que es posible que dependiendo del tiempo que haya estado sin alquilar el local, el propietario puede asumir que parte de la superficie del local no se alquile, lo que implícitamente supone una rebaja del precio.
- Geometría. La forma del local comercial es importante. Se valora que pueda ser adaptable a las necesidades de los negocios u oficinas que se vayan a implantar. La posibilidad de división en despachos, zonas de atención al público y de espera, almacén, etcétera, hará que se incremente el valor.
- Iluminación natural. La existencia de vistas al exterior y de iluminación natural aumenta el valor del alquiler para locales de oficinas, y también por la posibilidad de disponer un escaparate. La ventilación natural tiene menor valor ya que la mayor parte de los negocios tendrán ventilación forzada por razones de normativa y confort.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Aunque dentro de una promoción destinada a la venta puede hacerse parte de ella destinada a alquiler, es raro que un promotor decida hacerlo porque no es especialista en la gestión de los alquileres. Suelen ser inversores especializados o fondos de inversión los que los adquieran para su posterior gestión, por lo que el promotor inicial no entraría en el negocio.

Al igual que ocurre con el precio de venta de los locales comerciales a pie de calle, ocurre con el alquiler que, como se comentó en la introducción de este capítulo, cambia radicalmente de unas calles a otras de la ciudad. Incluso dentro de la misma zona puede ocurrir que un local situado en una calle paralela a otra muy comercial no tenga ningún atractivo y su precio no sea en ningún caso comparable.

Por último, se podrían incluir dentro de este apartado los aparcamientos en rotación, que si bien no es un alquiler estándar se puede asemejar a un alquiler por minutos sin mediar un contrato físico. Este tipo de negocios tiene características muy particulares. En algunos casos son concesiones municipales a una empresa mediante el pago de un canon durante un determinado tiempo, en otras es el propio promotor el que decide su promoción. Este tipo de aparcamientos tiene una demanda aceptable o incluso de gran éxito en el centro de ciudades grandes o incluso en algunas medianas en zonas muy céntricas y con calles peatonales o sin posibilidad de aparcamiento, pero en ciudades medianas lejos del centro o pequeñas, no tienen prácticamente demanda por las alternativas en superficie. Es preciso por tanto una vez más hacer un buen estudio de mercado y no sacar conclusiones rápidas de las encuestas a la gente, ya que es muy probable que exista una alta demanda, y aunque la mayoría puede permitirse el pago de la tarifa, no significa que finalmente lo hagan.

##### 4.3.3. Subvenciones

Desde el inicio de una promoción debe estudiarse qué posibilidades de subvenciones existen. La mayor parte de ellas están dirigidas a rehabilitación de viviendas, no solo en Centros Históricos. También hay para construcción de edificios completos en zonas de regeneración, como los citados Centros Históricos, e incluso para edificios nuevos en áreas nuevas que cumplan determinados requisitos de ahorro energético, emisiones, etcétera.

Estas subvenciones no son permanentes en el tiempo por lo que debe hacerse un seguimiento actualizado. Por citar un ejemplo, cuando entró en vigor en España la calificación energética de los edificios, se implantó para edificios de Protección Oficial una serie de ayudas en función de si la etiqueta obtenida era A, B o C.

Para rehabilitación de edificios son muchas las que existen, como por mejora de aislamientos, eliminación de barreras arquitectónicas, rehabilitación de fachadas, etcétera.

Es necesario además estudiar las subvenciones a nivel estatal, comunitario y local ya que suelen ser diferentes y en algunos casos se pueden sumar. Es tal la dificultad que entraña conocer las subvenciones aplicables pese a la existencia de portales de Internet de las diferentes administraciones que es recomendable acudir al asesoramiento de expertos.

Las subvenciones en ocasiones suponen una fuente de ingresos tan importante en las

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

promociones situadas en el Centro Histórico que pueden convertir a una promoción no viable en rentable. Para las promociones para la venta su análisis es sencillo, pero se debe ser cuidadoso con las subvenciones que se prolongan en el tiempo como a establecimientos hoteleros, ya que su desaparición podría suponer su ruina.

##### 4.3.4. Otros

Además de los ingresos anteriores que son los más conocidos, existen otros que podrían calificarse como excepcionales y que por lo tanto su aplicación sería fruto de oportunidades que podrían no ser extrapolables a otros proyectos. Por ejemplo, se pueden citar los siguientes:

- Anuncios publicitarios. La publicidad en edificios está muy regulada y prácticamente ya no es posible la colocación de carteles en las azoteas. Pero una fuente de ingresos no desdeñable dependiendo de la zona en la que se sitúe la promoción es la de publicidad en las lonas que tapan los andamios y las obras durante su ejecución. Estas lonas pueden aprovecharse para la publicidad de la propia empresa o promoción de ventas lo cual no genera ingresos, al menos directos, así como para la publicidad de marcas que sí que genera ingresos. El ejemplo por excelencia sería la utilización de estas lonas en el centro de Madrid, como en la Puerta del Sol.
- Cesión para instalaciones. Hay dos ejemplos de este tipo de cesiones, los transformadores eléctricos y los repetidores de telefonía móvil. En el primer caso, a veces esta cesión es obligada por ley, pero puede ampliarse el espacio y dar más servicio a la compañía eléctrica. Se debe ser muy cuidadoso con este tipo de instalaciones ya que en ambos casos la sociedad está posicionada claramente en contra de ellas por temor a las radiaciones, por lo que podría generarse un rechazo hacia la promoción que la condenaría al fracaso de hacerse conocida.

#### 4.4. ANÁLISIS DE LOS COSTES DE UN PROYECTO INMOBILIARIO

Una vez analizados los flujos de caja positivos, se deben analizar los flujos negativos provenientes de los costes que conlleva el desarrollo de una promoción inmobiliaria. Entre los posibles costes se encuentra la compra y urbanización del suelo, la construcción de la obra, licencias urbanísticas, gestión, venta, incluyendo publicidad, financieros, impuestos, etcétera.

En principio los costes tienen menor variabilidad que los ingresos ya que no dependen de la demanda, al menos de forma directa, y algunos son controlables. Por ejemplo, el coste de la obra será conocido, salvo errores en el proyecto o cambio en las calidades durante la obra para fomentar la demanda; o el coste de licencias que será conocido salvo cambio de la ordenanza municipal correspondiente. Quizá sea el coste de suelo uno de los más variables y problemáticos.

A continuación se van a comentar las particularidades de estos gastos.

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

### 4.4.1. Suelo

Como ya se ha adelantado, el suelo puede ser uno de los costes más complicados de obtener en una promoción inmobiliaria. Puede extrañar que no se asegure directamente que lo sea, pero es que hay casos en los que el precio es conocido.

Esta ambigüedad proviene de las diferencias que pueden existir en el grado de desarrollo urbanístico de un suelo. En España las competencias sobre el suelo están en manos de las Comunidades Autónomas, por lo que existen 17 normativas diferentes, aunque deben todas partir de la ley de suelo nacional y por lo tanto presentan cierta similitud, aunque con grandes diferencias en algunos casos que pueden resultar realmente importantes para el cálculo de la viabilidad del proyecto. Para los objetivos de esta Tesis el desglose más clarificador de los diferentes tipos de suelo sería:

- Suelo no urbanizable. Es un suelo que no tiene interés desde el punto de vista inmobiliario, salvo en casos muy excepcionales. El suelo no urbanizable suele estar categorizado dependiendo de la causa que ha motivado su inclusión en esta categoría. Por ejemplo, puede ser de tipo forestal, huertas tradicionales, inundables, fauna, entre otros, o puede ser genérico. En un plan general no tienen por qué estar presentes todas las categorías, ya que se deben adaptar a la realidad de cada municipio y a la existencia de elementos para proteger de la urbanización.

El Plan General describe en una ficha la información de lo que está permitido hacer en cada una de las zonas, siendo posible en algunos casos edificar. Por ejemplo, se permite generalmente la edificación de edificios auxiliares, forestales, almacenes, industrias agrícolas, bodegas e incluso viviendas aisladas vinculadas a la explotación agrícola. Los requisitos para poder edificar una vivienda o una industria suelen ser muy restrictivos, con necesidad de gran superficie, que puede ser fácil de conseguir en determinadas zonas como el sur de España, pero difícil en el norte. Por ejemplo, para construir una bodega en La Rioja se precisa al menos 1 hectárea de terreno.

También se debe mencionar que se ha generado cierta picaresca con la edificación de viviendas en suelo no urbanizable mediante la edificación de las conocidas como “casillas de aperos”. Este tipo de casillas de dimensiones en general muy pequeñas alrededor de 40 m<sup>2</sup> y destinadas a la guarda de aperos de labranza son utilizadas como excusa para construir un edificio de mayores dimensiones y destinado a vivienda y que posteriormente no son supervisados, y lo que es peor, en el caso de que sean detectados, no son demolidos, quedando superado el problema en el mejor de los casos con una multa. Esto hace que se encuentre gran cantidad de viviendas en zona no urbanizable, con saneamiento mediante fosa séptica con la consiguiente contaminación de acuíferos, y todo tipo de problemas que no se detallarán aquí.

Pero salvo para este tipo de construcciones comentadas, se puede decir que el suelo no urbanizable carece de aprovechamiento urbanístico.

- Suelo urbano. El suelo urbano tiene dos categorías:
  - Suelo urbano consolidado. Son terrenos que ya han sido urbanizados, es decir,



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

cuentan con acceso rodado, abastecimiento de agua, saneamiento de residuales y/o pluviales, energía eléctrica, etcétera, e incluso otros con condiciones especiales como por ejemplo estar inmersos en áreas urbanizadas. Para su edificación solo es necesario proyecto de edificación y licencia.

- Suelo urbano no consolidado. Son terrenos que están pendientes de urbanizar, o están incluidos en áreas de renovación integral o de reforma interior. Lo normal es que estén incluidos dentro de Unidades de Ejecución en las que ya están marcadas alineaciones, volúmenes y aprovechamientos. Son suelos muy próximos al suelo urbano consolidado. Para su edificación es necesario redactar un proyecto de reparcelación con alguna de sus modalidades (compensación, cooperación, expropiación o agente urbanizador), proyecto de urbanización y su aprobación, proyecto de edificación y su licencia.
- Suelo urbanizable. Es el suelo no incluido en suelo urbano ni en suelo no urbanizable. Tiene a su vez dos categorías:
  - Suelo urbanizable delimitado. Está formado por los sectores previstos por el Plan General para garantizar un desarrollo racional de la ciudad. Para su desarrollo necesita la aprobación de un Plan Parcial, en el que se definirán alineaciones, rasantes, volúmenes, etcétera, y se marcarán una o más Unidades de Ejecución. Seguidamente necesita el mismo desarrollo que el suelo urbano no consolidado. Geográficamente son suelos cercanos al suelo urbano no consolidado.
  - Suelo urbanizable no delimitado. Es el resto de suelo. Está formado por suelos que están situados próximos al suelo urbanizable delimitado y que todavía se prefiere que no sean desarrollados, ya que supondría por ejemplo la creación de “islas” de edificación con los graves problemas que genera, o porque se prefiere que se completen otras zonas de la ciudad previamente. Para su desarrollo el Ayuntamiento deberá modificar el Plan General delimitándolos en ese acto. Este hecho en sí supone una arbitrariedad por parte del Ayuntamiento que puede dar lugar a favorecer intereses particulares, pero es muy complicado hacerlo de otra forma. Una vez convertido a suelo urbanizable delimitado según lo expuesto los trámites para su desarrollo son los mismos que los de ese tipo de suelo.

Por lo tanto, y si no se cuenta el suelo no urbanizable, la dificultad en la gestión urbanística de un suelo crece según el orden en el que han sido presentados en esta Tesis. Los problemas que se pueden encontrar durante el desarrollo urbanístico de cada tipo de suelo son diferentes según su clasificación:

- Suelo urbano consolidado. Ya están desarrollados y urbanizados. Podría aparecer algún problema menor de adecuación de las redes de las compañías eléctricas, gas, etcétera, pero en la mayor parte de las ocasiones no serán relevantes.
- Suelo urbano no consolidado. Se debe redactar el proyecto de reparcelación. El proyecto conlleva la localización de todos los propietarios, lo cual no resulta senci-

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

llo en ocasiones porque el catastro o el registro de la propiedad pueden no estar actualizados. También pueden aparecer disputas entre ellos en el momento del levantamiento topográfico que delimita la superficie de las fincas. Aunque la redacción del proyecto de reparcelación es relativamente sencilla pueden surgir problemas durante su tramitación por las posibles alegaciones de propietarios disconformes con el desarrollo o con la propia reparcelación. También en ocasiones puede haber problemas para su inscripción en el registro de la propiedad.

La tramitación del proyecto de urbanización puede encontrar dificultades, por ejemplo durante su redacción, por las peticiones que puedan formular los servicios técnicos municipales en la calidad de los materiales a emplear, mobiliario urbano y zonas de juegos, etcétera. Es una negociación con muy poco margen de maniobra por parte del promotor y que podría encarecer la urbanización con costes imprevistos. El plazo para la redacción y aprobación de un proyecto de reparcelación podría variar entre los 6 meses y un año, y para el de urbanización se pueden considerar similares. En general se puede decir que la tramitación de un suelo urbano no consolidado es relativamente sencilla y es cuestión de tiempo.

- Suelo urbanizable delimitado. En este caso se debe redactar el Plan Parcial. La tramitación de un Plan Parcial resulta mucho más compleja debido a que se deben definir alineaciones, volúmenes, alturas, definir los espacios libres, dotaciones públicas, equipamiento, etcétera. La búsqueda de un consenso entre el equipo redactor y los técnicos municipales e incluso cargos políticos del Ayuntamiento puede llevar mucho tiempo. Asimismo, será preciso pedir informes sectoriales casi con total seguridad, de medio ambiente, de carreteras, empresas suministradoras de gas y electricidad, comunidades de regantes, etcétera, que pueden imponer sus criterios y que en algunos casos pueden hacer cambiar todo el diseño planteado. Por poner un ejemplo, un acceso a una carretera mediante algún tipo especial de enlace que ocupe terrenos no previstos en el planteamiento inicial. Todo este proceso puede hacer que tarde más de un año su tramitación, a la que posteriormente habrá que unir la tramitación propia del suelo urbano no consolidado.
- Suelo urbanizable no delimitado. En este caso se debe añadir a todo lo anterior la imposibilidad de iniciar la transformación del suelo por parte del promotor, ya que debe ser el Ayuntamiento el que decida la modificación del Plan General para la delimitación del Sector en cuestión. Por supuesto se pueden entablar conversaciones con los técnicos y políticos municipales para tratar de provocar esta delimitación, pero en cualquier caso, el proceso puede tardar varios años o incluso no conseguirse nunca.

En lo que se refiere a los costes del suelo, su precio depende de muchos factores. Excede el objetivo de esta Tesis explicar cómo se obtiene el precio de un suelo, por ejemplo, como lo hacen las empresas de tasación de inmuebles, basándose en métodos de valor residual o de comparación. Se centra en los factores que influyen en la valoración que un promotor hace de un suelo. No obstante, sí que se dirá brevemente cómo le afectan a una tasación los factores que se van a comentar debido a la importancia que en el

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

desarrollo de una promoción tiene una tasación para obtener la financiación de una entidad bancaria. En general nunca coincidirá el precio de un suelo con el valor que una empresa de tasación hará de él. No se trata de decir que el valor de una tasación no es real y no sirve, aquí podría entrar en juego el refrán de “solo un necio confunde valor con el precio”, lo que ocurre es que el precio que pondrá un vendedor y el que estará dispuesto a pagar un promotor tienen factores psicológicos que en una tasación no aparecen, de manera que muchos factores de los que a continuación se explicarán, se ven ampliados en una negociación real. Para un banco en el que sus empleados no son promotores, no tienen otro remedio que usar el valor obtenido de una tasación, ya que se obtiene por métodos racionales, pero para un promotor, este valor será una simple aproximación al real:

- **Ubicación.** Es obvia su influencia en el precio del suelo. En la sección 4.3 se ha explicado cómo una buena ubicación influye en el precio de la vivienda y por lo tanto en el coste del suelo. Proximidad al centro, cercanía a vías de comunicación, barrios bien valorados, etcétera. En una tasación se analizan precios por comparación de viviendas terminadas similares que han sido vendidas en zonas cercanas e incluso en localidades próximas y que tienen las empresas en su base de datos, conocidos como testigos, y a partir de ellos obtendrán el valor del suelo. Pero obviamente, esta forma de obtener el valor del suelo se podría calificar, en el mejor de los casos, como “aproximada”. Es decir, si como en esta Tesis se ha explicado, dentro de una misma ciudad, el precio de la vivienda es diferente dentro de la misma calle o si se encuentra cercano a una intersección con otra calle más valorada, o a un parque, etcétera, es difícil creer que esta influencia se obtenga de unos testigos que a veces no son ni de la misma localidad.
- **Grado de desarrollo urbanístico.** La dificultad del desarrollo urbanístico de los suelos va acorde con su precio. El precio de un suelo urbanizable no delimitado debe ser el precio del suelo rústico y cuantos más trámites dentro del desarrollo de un tipo de suelo concreto se hayan superado mayor será su valor porque más cercano estará el momento en el que se pueda comenzar la promoción, siendo inmediato en el caso del suelo urbano consolidado. En este caso, las tasaciones sí reflejan bien su influencia ya que estiman cuánto tiempo se tardará en poder comenzar la promoción actualizando las rentas, otra cosa es que esté bien escogido el factor de actualización de rentas.
- **Edificabilidad.** A mayor edificabilidad mayor precio. No se necesita mayor explicación por su obviedad. Naturalmente las tasaciones lo valoran correctamente.
- **Geometría de la parcela.** Este punto no aplica para suelos pendientes de reparcelar. En el caso de que se encuentre el suelo ya urbanizado, no es lo mismo una parcela con una geometría adecuada para construir un edificio con buena iluminación y ventilación, con zonas verdes y piscina, etcétera; o que sea una parcela, como por ejemplo muchas de los centros de las ciudades, con un gran fondo edificable que obligará a la construcción de patios de luces, viviendas solo con vistas a patio

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

de manzana, sin posibilidad de zonas verdes, etcétera. También es importante la presencia de esquinas con ángulos muy cerrados, desniveles, diferencia de alturas, entre otros. Lo mismo ocurre con la posibilidad de la construcción de un sótano racional y con un buen aprovechamiento, o por el contrario tener que hacer varios sótanos con bajo aprovechamiento o con plazas con dificultad para aparcar. Este factor, que no es tenido en cuenta en las tasaciones, o en el mejor de los casos con un factor de depreciación que casi nunca usarán, es fundamental y tan importante que el promotor debe contar con un estudio previo hecho por un arquitecto para no cometer errores.

- Grado de división de la propiedad. Este punto también tiene una importancia capital y no es tenido en cuenta en las tasaciones. Se van a hacer dos diferenciaciones según el grado de desarrollo urbanístico del suelo, ya que la problemática es totalmente diferente:
  - Suelo sin reparcelar. Cuando un promotor se interesa por unos suelos de una unidad de ejecución o de un sector, puede encontrarse con que el propietario sea único, lo cual podría ocurrir en una unidad de ejecución pequeña, o que haya varios o muchos propietarios. El promotor tiene que conseguir al menos el 50 % de la propiedad o porcentaje que indique la ley del suelo para poder poner en marcha la junta de compensación. La casuística puede ser muy variada. No es lo mismo encontrarse con unos propietarios de suelos agrícolas que no los cultivan, que encontrarse con propietarios de suelos agrícolas en producción, o lo que es peor, con propietarios de pabellones agrícolas, o con viviendas que será necesario demoler. Pero lo que es peor, es que el precio del suelo de la primera compra al primer propietario será muy diferente de los posteriores. Es decir, en cuanto el resto de los propietarios intuyan un gran interés por parte del comprador, el precio aumentará rápidamente hasta llegar al punto de calificarlo como chantaje. Por ello es muy importante calibrar las estrategias y dificultades para llegar a tener el porcentaje necesario, ya que una vez obtenido, es difícil que un propietario no quiera vender, porque no le interesará tener que afrontar el pago de los costes de urbanización, pero si no se alcanza fácilmente el 50 % podría haber sido una inversión fracasada. Una forma de evitar esta situación es hacer una opción de compra de forma que solo se lleve a término la compra si se obtiene el 50 % del suelo, lo cual obligará a un entendimiento de los propietarios, pero se corre el riesgo de que se dirijan a otro promotor a ofrecerles sus suelos y perderse la operación.
  - Suelo reparcelado, es decir parcela finalista. En general una parcela finalista es de un solo propietario y no tiene problemas. Podría darse el caso, que ocurre con relativa frecuencia, de que aparezca un proindiviso de la propiedad derivado de que los propietarios del proyecto de reparcelación no tuvieran suficiente aprovechamiento para obtener una parcela mínima. Este tipo de situaciones se tienen que resolver de forma amistosa, cediendo uno de los propietarios y vendiendo a otro, o mediante un proceso judicial para

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

resolver el proindiviso. No se analiza con más profundidad porque no es tan importante para lo estudiado en esta Tesis.

- Existencia de un mercado de suelo. Tras la crisis inmobiliaria española muchas veces se escuchaba la pregunta de cuál sería el precio del suelo, y no había respuesta porque sencillamente no existía mercado, es decir, en muchos casos no había comprador a ningún precio, lo cual puede parecer sorprendente, pero tiene su explicación en el pago de impuestos que acarrea la tenencia de propiedad de un suelo que en muchos casos no era viable en absoluto su urbanización y edificación. También en localidades pequeñas puede ser que solo haya un promotor que tradicionalmente construye allí y copa la oferta de forma que es complicado que otro promotor entre en esa zona. Por el contrario, en lugares con gran número de promotores y de operaciones, el precio del suelo será más ajustado a su valor real. Las empresas de tasación sí contemplan indirectamente este factor mediante el aumento de tiempo en el desarrollo de la promoción.
- Otros factores. Hay más factores que influyen en el precio que está dispuesto a pagar un promotor, como estratégicos, es decir, pagar un precio más caro con la condición de poder acceder a un nuevo mercado, publicitarios, derivados de construir en una de las mejores zonas de la ciudad y que contribuyan a mejorar el nombre de la empresa, etcétera. En demasiadas ocasiones este tipo de estrategias y pagos más elevados que el precio correcto, conducen a problemas de rentabilidad. Este tipo de factores no son contemplados por las empresas de tasación, lo cual en este caso es una ventaja.

En resumen, el coste de suelo tiene una gran variabilidad, llegándose a alcanzar diferencias tan grandes en la compra de los terrenos colindantes o dentro de una misma unidad de ejecución que pueden parecer inexplicables, pero que se fundamentan en lo expuesto en este punto. La compra de terrenos es un arte y es muy importante contar en la empresa con un experto, que posea una buena red de contactos y experiencia en la zona. Estas personas suelen conocer todas las parcelas que están en venta, incluso conocen personalmente a sus propietarios y conocen sus circunstancias personales.

Por ejemplo, valores razonables para promociones en ubicaciones de barrios periféricos o nuevos sectores, podría oscilar en un rango de 10000 a 20000 €/vivienda, o un porcentaje entre un 10% o un 15% del total de los costes. Pero como se deduce de todos los comentarios anteriores, valores de suelo que doblen o tripliquen los aquí mencionados no tienen por qué ser caros si la ubicación es muy buena.

##### 4.4.2. Urbanización

En parcelas en suelo urbano consolidado no existe en general el coste de urbanización, ya que ya están urbanizadas. No obstante, en ocasiones será preciso abordar la adecuación de aceras o pequeñas transformaciones en las redes de suministros pero que suelen ser de escasa entidad. Por el contrario, en el resto de suelos siempre será

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

necesario urbanizar, lo cual conllevará unos costes que en muchas ocasiones pueden ser muy elevados.

En principio se trata de dotar de los siguientes servicios: acceso rodado y peatonal, conocido en el sector como encintado de aceras, abastecimiento de agua, saneamiento de residuales y pluviales, electricidad, telecomunicaciones, gas, riego, jardinería, mobiliario urbano, y en algunos casos también de otras instalaciones mucho más especializadas como contenedores de basuras soterrados, recogida neumática de basuras, red de aguas recicladas para riego, etcétera.

Los servicios y calidad de los materiales a emplear suelen estar definidos en Ayuntamientos de ciudades grandes, pero no en los medianos y pequeños. En todos ellos, habrá que presentar el proyecto de urbanización a los técnicos municipales, los cuales pedirán los cambios y las calidades que estimen pertinentes, teniendo que acatarlos el promotor, pudiendo darse en ocasiones situaciones de peticiones que podrían calificarse de abuso. Con esto lo que se quiere advertir es que es recomendable cuanto antes conversar con el Ayuntamiento para conocer sus pretensiones y no tener sorpresas cuando sea demasiado tarde.

Este problema también podría ocurrir con las compañías suministradoras, que en ocasiones piden extensiones de su red, incluso en lugares alejados de la propia urbanización, amparándose la ley y por lo tanto, con poco margen de negociación.

Los costes de urbanización se pueden prever mediante ratios para realizar los primeros cálculos. En el caso de que no estén diseñadas ni las zonas verdes ni los viales el coste aproximado de urbanización se obtiene multiplicando la superficie bruta del sector, es decir, incluyendo superficie de parcelas también, por un valor entre 28 - 33 €/m<sup>2</sup>, utilizando el rango más alto o bajo, según se prevea mayor o menor dificultad en conexión a instalaciones fuera del sector o se prevean calidades más altas o bajas de materiales pedidas por el Ayuntamiento.

En el caso de que se conozcan las parcelas edificables y por lo tanto los espacios destinados a urbanización, ya sean viales o zonas verdes pero sin diferenciar, se obtiene multiplicando la superficie a urbanizar por un valor entre 70 - 80 €/m<sup>2</sup>. Por último, en el caso de que se conozcan cuáles serán las parcelas de viales y cuáles las de zonas verdes, se multiplicarán los viales por un rango entre 120 - 150 €/m<sup>2</sup> y las zonas verdes por 45 - 50 €/m<sup>2</sup>. En porcentaje, puede suponer un 10 % de los costes totales.

Estos valores se acercan mucho a la realidad y están avalados por la experiencia, pero pueden verse distorsionados en ocasiones, como en urbanizaciones muy pequeñas en el caso de que sea precisa la instalación de un transformador eléctrico, ya que su coste supondrá un porcentaje muy elevado de la urbanización, o en urbanizaciones muy grandes en las que sean necesarias instalaciones especiales.

El tiempo necesario para urbanizar depende por supuesto de la dificultad y del tamaño del sector, pero puede suponerse que oscilará entre 6 meses generalmente, y 1 año para los casos más difíciles.

Un asunto importante para tener en cuenta en la previsión de flujos de caja de la promoción es el concerniente a los avales. Para la aprobación de un proyecto de urbanización los Ayuntamientos suelen exigir el depósito de un aval por una cuantía igual al 6 % del presupuesto de urbanización como garantía de la correcta ejecución de las obras.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

Con la imposición de este aval el Ayuntamiento se garantiza que cuando se finalicen las obras si hay algún problema que subsanar y el promotor no lo hiciera, podría hacerlo el propio Ayuntamiento ejecutando el aval.

Pero para que sea suficiente con un aval del 6 % no se deben comenzar las obras de edificación hasta la recepción de la urbanización, y generalmente es al contrario, es decir, el promotor quiere simultanear las obras de edificación y urbanización. En ese caso el aval exigido suele ser del 100 %, aunque se puede negociar una rebaja hasta el 60 % que no suele ser fácil conseguir. La razón de este aval tan elevado es que el Ayuntamiento se podría encontrar con un grave problema si el edificio se finaliza y está vendido y la urbanización no está terminada, pudiendo en ese caso los compradores presionarle para que sea él mismo quien finalice las obras de urbanización, por lo que con la concesión de la licencia de edificación se exigirá el depósito de un aval por el citado importe. Conseguir estos avales en estos años no es tan fácil, aunque en los momentos de la burbuja inmobiliaria no había ningún problema.

##### 4.4.3. Construcción

Los costes de construcción de un edificio serán en general la partida más elevada, pero a diferencia de la del suelo, que salvo excepciones se compone de un pago único al inicio, en este caso se reparte a lo largo de varios meses según se va construyendo la obra. El reparto temporal de los costes de construcción no tiene por qué ser homogéneo, aunque en muchas cuentas de explotación suele hacerse un reparto simplificado pese a que hay partes de la obra que son más lentas, como por ejemplo la cimentación y por lo tanto se certificará menor cantidad de obra ejecutada que en otras fases, como cuando se realizan las instalaciones. El resultado que se obtendrá en el cálculo del VAN puede variar bastante si el tipo de descuento es muy elevado.

La cuantía del coste, en primer lugar depende de las calidades empleadas en la construcción. Es decir, un edificio con el mismo diseño geométrico puede cambiar su precio respecto a otro en función de la memoria de calidades. Estas calidades diferentes que hacen aumentar el coste son:

- Estructura. La losa armada es más cara que el forjado reticular y a su vez que el forjado unidireccional. En España se ha construido la inmensa mayoría de las viviendas con forjado unidireccional, por precio, pero las cualidades de un forjado reticular respecto a vibraciones, fisuras y ruido lo hacen más adecuado que el unidireccional. La cimentación en superficie mediante losa o zapatas, o cimentación profunda mediante pilotes está determinada por parámetros geotécnicos y no es sinónimo de calidad, aunque la diferencia de coste entre ellas es muy importante. Este apartado no suele ser considerado por el comprador como un factor de compra fundamental.
- Instalaciones. Un edificio se puede construir con instalaciones básicas, quiere esto decir, con lo estrictamente exigido por normativa que es suficiente para que una vivienda tenga el confort necesario, o se pueden añadir otros complementos que la encarecerán. Un ejemplo es el aire acondicionado, que además del coste de la

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

instalación, supone el paso de electrificación básica a elevada con el consiguiente cambio en la demanda de potencia, que es probable que haga necesaria la instalación de más centros de transformación.

Otro sería las instalaciones de calefacción, donde se pueden colocar calderas de alto rendimiento, suelo radiante, mayor cantidad de placas solares térmicas, etcétera. También se puede implementar la domótica en la vivienda, donde el campo de actuación es muy amplio y prácticamente no tiene límites, control por teléfono móvil de intrusión, de conexión de electrodomésticos, etcétera, motorización de persianas, creación de escenas de iluminación, y prácticamente lo que la imaginación del usuario solicite.

Este tipo de aumento en la calidad de las instalaciones vendrá a veces obligado por la competencia y siempre animado por el equipo de ventas, pero se debe ser prudente ya que todo el mundo sabe qué es lo mejor y por lo tanto que se venderá mejor, pero el aumento de costes podría no ser soportado por el precio de venta.

- Acabados exteriores. Los materiales de fachada pueden ser comunes como revestimientos de mortero o ladrillo caravista, o pueden ser de piedras naturales con fachada ventilada o incluso con materiales más modernos como muros cortina de vidrio, aluminio, etcétera. Otro ejemplo serían las barandillas que pueden ser metálicas o de vidrio. Al igual que en el caso anterior sí que son apreciados por el comprador los mejores materiales pero pueden disparar el coste.
- Acabados interiores. Las baldosas pueden ser de gres o de piedras naturales, los suelos de gres, de parqué flotante o tarima, los acabados de cocina, etcétera. No se deben descuidar tampoco los mobiliarios de baño y cocina. La variación entre precios de estos materiales es muy grande, y por supuesto, el comprador lo aprecia ya que es realmente el lugar donde va a vivir.

En segundo lugar, el coste depende del diseño arquitectónico. Los mecanismos que hace que un comprador visite una tienda física pueden ser diferentes para cada uno, pero qué duda cabe que prácticamente lo primero que verá en la publicidad el comprador será el diseño exterior del edificio y este debe atraerle para seguir mirando. Contar con un buen diseño del edificio, dependiendo de la zona o el público objetivo, moderno y diferente en zonas nuevas y de expansión, o clásico pero señorial en zonas de rehabilitación, puede hacer decantarse a un comprador por una vivienda. Incluso para aquel que ha llegado por otros medios, como políticas de precios o por mensajes, puede hacer que tome su decisión finalmente gracias al diseño exterior. En esta labor no solo cuentan los materiales, sino que un buen arquitecto sabrá diseñar con juegos de volúmenes, colores, texturas, ritmo en la composición, etcétera. Por lo tanto, es de gran valor contar con una perspectiva de tres dimensiones y con vídeos o con nuevas tecnologías como la realidad aumentada.

También en el apartado de diseño se puede englobar el tamaño de la vivienda y fondo del edificio. Sobre el tamaño se puede influir porque es una decisión del promotor. Cuanto mayor es una vivienda menor será el coste por metro cuadrado, ya que una vivienda suele tener dos cuartos de baño y una cocina, independientemente de si tiene dos o



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

cuatro habitaciones. También ocurre que una vez decidido el número de habitaciones, por ejemplo tres, pasar de 82 m<sup>2</sup> a 95 m<sup>2</sup> supone en gran medida la construcción de suelo y techo, pero poca repercusión en paredes y muy poca o casi nula en instalaciones.

Sobre el fondo edificable no se puede influir, ya que está marcado por el Plan General, a no ser que se trate del desarrollo de un Plan Parcial, donde sí puede ser elegido. Un fondo edificable de 12 metros prácticamente obliga a la construcción de dos viviendas por planta, o tres en el mejor de los casos. Si se construyen solo dos, las viviendas serán de una gran calidad, dos orientaciones, poco contacto con otros vecinos ruidosos; pero se deberá construir una escalera y un ascensor para cada dos viviendas por planta. Si el fondo es 14 metros ya se puede pasar a cuatro viviendas por planta o incluso por más si se opta por la construcción de un pasillo largo, lo cual no es muy agradable por el efecto de parecido con un hotel. En este caso las viviendas solo tendrán una orientación, excepto las de esquina, pero los costes se rebajan porque con un bloque de escalera y ascensor se da servicio a todas ellas. Por último, el fondo más económico es el de 25 metros, el cual permite la construcción también de cuatro viviendas por planta, pero con muy poca fachada y muy compactos, pero con el problema de que las viviendas tendrán parte de sus habitaciones a patio de luces, lo cual baja indudablemente la calidad de la vivienda y puede hacer que un gran rango de clientes la desechen. Por lo tanto, la construcción de edificios de este tipo debe ser sopesada con gran cautela. Por terminar con el repaso general de los casos más típicos, se puede citar el formato torre, formado por un cuadrado de lado 20 o 22 metros, que permite la construcción de un bloque de escaleras para cuatro o cinco viviendas por planta, y que también resulta económico aunque tiene mayor longitud de fachada.

En cuanto a las viviendas unifamiliares básicamente hay de tres tipos. La más económica es la de viviendas adosadas en hilera, ya que comparte cada unifamiliar dos medianeras, o visto de otra manera, solo tiene dos fachadas y su jardín será pequeño. El siguiente paso son los unifamiliares pareados o dos a dos, que son más caros por tener tres fachadas y mayor jardín. Y por último está el unifamiliar aislado, que tiene cuatro fachadas y mucha más parcela. Generalmente se construyen a medida y tienen un coste mucho mayor.

Un factor importante en el coste es la existencia de zona verde privada, con piscina o incluso con otro tipo de instalaciones, como pistas de pádel, gimnasios, saunas, salas de reunión, etcétera, que son muy apreciadas por los compradores.

En menor medida influyen otros factores como la ubicación del edificio, donde aumentarían los costes por causas como estar construyendo en alguna isla, la lejanía a centros de producción, o lo que es peor, presencia de lobbies o grupos que, aunque no se pueda demostrar, inflen artificialmente el precio de algún suministro e impiden la entrada de competidores. También son importantes las diferencias entre comunidades autónomas de los costes laborales, por normativa propia o por la situación del mercado laboral que puede hacer que varíe sustancialmente la colocación de algún material siendo el mismo coste de suministro.

Se puede establecer un rango de precios para los costes de construcción, pese a lo indicado anteriormente. El coste mínimo por metro cuadrado que algunas empresas son capaces de obtener para viviendas de protección oficial sería de 500 €/m<sup>2</sup>, aunque

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

es mejor señalar como coste mínimo 550 o 600 €/m<sup>2</sup>. El coste máximo, con materiales nobles, y buenas instalaciones, podría oscilar entre 800 y 900 €/m<sup>2</sup>. Estos rangos pueden tener un incremento de un 20 % en el coste mínimo si se trata de viviendas unifamiliares, pero el rango superior puede incrementarse mucho más en este tipo de viviendas. En porcentaje puede suponer un 50-60 % del total de los costes de obra, dependiendo de la influencia de otros como el suelo.

##### 4.4.4. Otros

En este apartado se agrupan otros costes que aparecen en una promoción inmobiliaria y que tienen un impacto significativo en el cálculo de su rentabilidad. En la cuenta de explotación deben aparecer de forma independiente ya que permitirá un control mejor sobre la promoción. A continuación se recogen con sus características:

- Honorarios de proyectos: Todos los proyectos que se han mencionado hasta ahora necesitan de profesionales que los redacten, y en algunos casos que los dirijan durante su ejecución. Por ejemplo: La redacción de un Plan Parcial necesita un equipo de arquitectos o ingenieros de caminos, canales y puertos, pero no necesita dirección posterior. En cambio, un proyecto de urbanización necesita que sea dirigido, por los mismos redactores generalmente o por otro equipo durante las obras. Sucede lo mismo para el proyecto de edificación, aunque en este caso serán arquitectos los que deban redactarlos por razones de competencias.

Normalmente estos proyectos incluyen proyectos específicos de instalaciones, redactados por el propio arquitecto en algunos casos, o por otros especialistas, como los proyectos de electricidad, telecomunicaciones, estructuras, etcétera, que serán redactados por ingenieros industriales, de telecomunicaciones, de caminos, geólogos, topógrafos, arqueólogos, etcétera, lo cual necesita una buena coordinación, por lo que la elección de los profesionales debería hacerse con criterios de calidad y no solo de precio.

En los proyectos de reparcelación y en los planes parciales es muy conveniente incluir en el equipo redactor a un abogado urbanista debido a la complejidad legal que tiene el urbanismo para evitar problemas posteriores en la inscripción de las parcelas en el registro de la propiedad. También se incluirían en los honorarios la redacción de la división horizontal y de informes.

Los costes de los honorarios de redacción de proyectos han entrado en un proceso a la baja derivado de la escasa demanda y mucha oferta. Aunque así son las leyes del mercado es obvio que la calidad de los proyectos se resiente, y lo que es peor, la dirección de obra. Antiguamente los colegios profesionales tenían tablas de honorarios orientativas que fueron prohibidas por los organismos de la competencia, que cuando hoy se leen parecen un sueño sobre todo para los más jóvenes, aunque realmente ese debería ser el precio. Cuando se calcula la cuenta de explotación se deben hacer los cálculos suponiendo que los profesionales que se contratarán serán de alta calidad. Para los proyectos y dirección de obra de urbanización se puede suponer un coste del 5-6 % de su presupuesto de ejecución. Para los pro-

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

yectos de edificación, para proyectos de tamaño medio, se puede considerar el mismo porcentaje anterior, pero para proyectos muy grandes podría ser del 4 % y para proyectos pequeños podría llegar al 8-10 %. Los proyectos de urbanismo y de compensación suelen presupuestarse en función de la superficie, número de parcelas afectadas, complejidad, etcétera, pero podrían estar en un rango entre el 1-3 % del total.

- **Publicidad y marketing:** Una buena campaña publicitaria es fundamental para el éxito de la promoción, aunque lamentablemente, no es garantía de éxito. Se podría decir que es necesaria pero no suficiente. También han cambiado los medios y soportes con la evolución del mercado y del consumidor. Hay muchas formas de hacer publicidad y dependerá del tipo de promoción, público objetivo, etcétera. El coste destinado a publicidad puede ser muy elevado, entre el 1-2 % de las ventas. A continuación se recogen los medios de publicidad más usuales y sus características:
  - **Vallas publicitarias:** Siempre ha sido el medio de publicidad por excelencia. Se trata de una valla ubicada en el propio solar, en zonas próximas, o en otras de la ciudad muy transitadas. En ella se debe incluir una imagen en tres dimensiones de la promoción, con el nombre de esta, del promotor, y un mensaje publicitario, acompañado de la página web y de la dirección física de la oficina de ventas. Se trata de conseguir la atención del cliente, quizá el primer paso y el más complicado para que posteriormente en la oficina ya sea informado en profundidad. Casi siempre debe existir, solo queda la duda si el público objetivo no vive en la propia ciudad. Es decir, en caso de segunda residencia para mercado extranjero, es muy difícil que puedan ver la valla durante su periodo no vacacional, pero puede ser que siempre veraneen en la misma zona y en ese caso sí sería efectiva. Debe ser vigilada constantemente ya que su deterioro por una mala colocación o por los agentes atmosféricos pueden dar una mala imagen que ahuyente a potenciales clientes.
  - **Internet.** Se ha convertido en un medio fundamental. El cliente que haya conocido la promoción por medio de la valla u otros, se dirigirá a la página web para conseguir más información. Lo que espera encontrar el cliente es sobre todo nuevas imágenes virtuales del edificio y de su interior, planos con distribuciones y superficies, memorias de calidades, y precios y plazos. Estos dos últimos no es recomendable que aparezcan o en todo caso muy aproximados y los más baratos de la promoción. No se trata de comprar por Internet sino de que el cliente conozca la promoción y acuda a la oficina de ventas. Es conveniente que la página web esté preparada para la navegación por teléfono móvil. También se pueden incluir aquí los anuncios publicitarios en periódicos digitales o páginas especializadas.
  - **Prensa escrita.** Durante décadas fue la prensa escrita el soporte de la publicidad pero ya ha perdido importancia. No obstante, debe publicitarse también en un periódico local al menos durante un periodo de tiempo, ya que no

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

todos los lectores han pasado a lectura digital del periódico, y el impacto en la prensa escrita es mayor que en la digital.

- Buzoneo. Es una práctica cara y no recomendable. El impacto será muy bajo y el coste muy alto. Es muy difícil que un interesado solo vea esta forma de publicidad si realmente está interesado.
  - Televisión. Estaría restringida a la televisión de ámbito local. Es cara porque necesita la elaboración de un vídeo, aunque luego podrá ser aprovechado para la página web. Su alcance es limitado a la audiencia de este tipo de televisiones.
  - Redes sociales. Fácil de decir pero difícil de implementar. No obstante, se debería crear una cuenta en las más conocidas que permita conocer información a sus usuarios. Su coste es bajo, pero debe hacerse por expertos, porque un mal diseño podría provocar el efecto contrario.
  - Folletos y paneles. Cuando el cliente llega a la oficina de ventas es casi imposible que compre en la primera visita. Lo que quiere es ampliar información para llevársela a su casa y verla con detenimiento. Por lo tanto, se le deben entregar folletos y dosieres con papel de calidad y buena imagen. Es decir, cuando el cliente se va con su información ya no está el comercial para guiarle y animarle a la compra, por lo que todas las opciones de venta recaen en los folletos. Si le convencen volverá, pero si no lo hacen será un cliente perdido. Posiblemente la información que aparezca en ellos será la misma que en la página web, pero no importa, se deben entregar pese a su elevado coste.
  - Piso piloto. Cuando la obra ya está avanzada se puede adelantar la construcción de una de las viviendas para que sea visitada por el cliente y comprenda mejor cómo será su vivienda. Esto obliga a la decoración y amueblamiento y es mejor contar con el asesoramiento de un decorador. El coste de esta acción suele ser elevado, pero si se realiza en la propia obra es menor que si se construye un piso en un terreno cercano a nivel de calle para su posterior demolición.
- Coste de ventas. Se ha preferido separar del de publicidad y marketing por sus peculiaridades. Las ventas pueden hacerse de dos maneras diferentes, mediante oficinas propias o mediante inmobiliarias externas. En el primer caso se trata de utilizar las oficinas propias o la instalación de una caseta en las inmediaciones de la obra para que personal de la propia empresa venda el producto. Esta opción tiene como ventaja que solo se vende esta promoción y el vendedor estará más motivado ya que o vende estas viviendas o no vende nada. Los vendedores deberán tener un sueldo fijo, además de las comisiones por ventas. El segundo caso de utilización de inmobiliarias externas consiste en permitir la venta del producto a varias inmobiliarias que venderán la promoción junto a promociones de la competencia. Tiene como ventaja que se llega a mayor número de potenciales compradores, pero como desventaja tiene que competir dentro de la propia oficina de ventas para que sea vendido. Es decir, si las comisiones para el vendedor son menos interesantes

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

que las de otra promoción, o si el propio vendedor considera que será más difícil venderla, se centrará en otras promociones más atractivas, quedando relegadas a un segundo plano.

Por lo tanto en el caso de trabajar con inmobiliarias externas las comisiones deberán ser más generosas que en el caso de hacerlo con propias, pero como hay que sumar el salario del personal propio, se puede considerar en ambos casos un coste de ventas en torno al 4-5 %.

- **Asesoramiento:** En el apartado de honorarios se han contemplado los de los técnicos y los de los abogados urbanistas, pero también se deben pagar honorarios de asesoramiento financiero, contable, jurídico, etcétera. Estos honorarios es mejor contemplarlos por separado de los gastos generales, ya que dependiendo del tamaño del equipo de la propia empresa serán más o menos elevados, pudiendo usar recursos propios. Su coste podría llegar al 1 %.
- **Gastos generales:** Las empresas promotoras suelen contar con personal fijo y oficinas. Se trata de personal de contabilidad, personal de apoyo, técnicos en plantilla si la constructora tiene el suficiente volumen, gastos de mantenimiento de la oficina, comunicaciones, etcétera. Su coste será variable en función de la empresa pero podría alcanzar el 3 %.
- **Gastos financieros.** Para realizar la promoción se contará casi con total seguridad con financiación externa, generalmente procedente de bancos, aunque también podría ser de inversores externos o internos. La financiación puede contemplar el suelo y la obra de edificación y urbanización. Generalmente se irá disponiendo del dinero según se necesite por medio de certificaciones de obra, y con la intención de cancelarlo al final cuando se formalicen las ventas. Su coste puede ser del 3 % porque, aunque el tipo de interés seguramente será más elevado, al no disponer de todo el montante desde el principio, se conseguirá un tipo de interés medio menor.
- **Tasas e impuestos.** Durante la vida del proyecto hay que pagar una serie de tasas e impuestos que tienen un coste muy elevado. Para tramitar la petición de licencia en el Ayuntamiento es preciso pagar una tasa y posteriormente el Impuesto de Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO). Al finalizar la obra se debe pagar la tasa por solicitar la licencia de primera ocupación, cédulas de habitabilidad, etcétera.

Pero no solo es en el Ayuntamiento donde se debe tramitar el proyecto. También es necesario pagar en el notario y en el registro de la propiedad por diversos conceptos, como la escritura de división horizontal y la de obra nueva, pagar impuestos como el de actos jurídicos documentados, pagar impuestos con la compra del suelo como el de transmisiones, plusvalías, etcétera. Además hay otros pagos derivados de las responsabilidades del promotor según la Ley de Ordenación de la Edificación, como el seguro decenal y la Oficina de Control Técnico.

Todos estos costes los podríamos estimar en un 7-8 % de los costes totales.

## 4.5. RIESGOS DURANTE UN PROYECTO INMOBILIARIO

Una promoción inmobiliaria tiene un desarrollo largo en el tiempo, que es muy difícil que pueda ser inferior a dos años y que en muchas ocasiones puede alcanzar más de cinco años incluso diez. Enfrentarse a estos periodos de tiempo tan elevados hace que aparezcan cambios en las previsiones que se habían efectuado, pudiendo ser tanto positivas como negativas. En este apartado se van a analizar los riesgos a los que se enfrenta un proyecto inmobiliario y que conviene tenerlos en consideración en el momento del inicio del proyecto y sus consecuencias, ya que la aparición de algunos de ellos puede acabar con la promoción en fracaso.

### 4.5.1. Riesgos urbanísticos

Se pueden leer en la sección 4.4.1 las dificultades que se pueden encontrar durante el desarrollo urbanístico de un suelo. Se trata de problemas que aparecen por el aumento de plazos en el inicio de la promoción, lo cual tiene efectos muy perjudiciales y fácilmente comprensibles, por ejemplo, aumentan los intereses a pagar por el préstamo del suelo o se deja vía libre a la actuación de la competencia, que podría acabar con la demanda existente.

Otro riesgo urbanístico importante, pero diferente del propio desarrollo, son los cambios inesperados de planeamiento. Es decir, podría haber revisiones del Plan General que cambien la edificabilidad del suelo, o su calificación. Estos cambios podrían ser favorables o no, pero en todo caso podrían cambiar el planteamiento realizado e incluso en casos favorables como aumento de fondos edificables, podrían suponer que un proyecto que se estuviera redactando y prácticamente finalizado no tuviera valor. Es cierto que no es muy normal que haya cambios en suelo urbano, aunque tampoco es raro cambios en normativas de vuelos o de cómputos de edificabilidad por ejemplo, pero sí es mucho más común en sectores urbanísticos. Para intentar paliar estos problemas, los Planes Generales suelen tener en las fichas de los sectores o unidades de ejecución unos plazos para su desarrollo que garantizan que durante este plazo no serán alterados.

Además, cuando se va a modificar un Plan General es muy normal marcar una zona de suspensión de licencias, es decir, paralizar zonas que podrían tener modificaciones durante la revisión del Plan General y esta situación podría prolongarse varios años.

Lamentablemente todos estos problemas enumerados son muy comunes, por lo que es muy recomendable actuar rápido en una promoción, no solo por aumentar la rentabilidad sino para evitar verse envuelto en cambios de planeamiento, que casi con seguridad harán desaparecer la rentabilidad de la promoción salvo, claro está, que el mercado esté inmerso en un periodo de alza de precios.

### 4.5.2. Caída de la demanda

El riesgo de caída de la demanda es menor que el de los riesgos urbanísticos y no porque no pueda ocurrir sino porque los ciclos económicos abarcan varios años al igual

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

que la duración de una promoción. La demanda de vivienda viene determinada por varios factores, siendo los más importantes la necesidad para vivir en ella y la vivienda como activo para inversión inmobiliaria.

La necesidad de vivienda viene condicionada principalmente por el aumento de población, pero también por el propio paso del tiempo ya que aumentarán los matrimonios y porque las viviendas actuales irán envejeciendo y deteriorándose. En el primer caso, el aumento de población debido a la diferencia entre natalidad y mortalidad no es significativo a estos efectos, sobre todo en los países desarrollados en los que prácticamente no aumenta, con los graves problemas que eso conlleva y que aunque son muy interesantes se escapan del alcance de esta Tesis. Tal vez tendría mayor impacto un aumento de la esperanza de vida y por lo tanto, el consiguiente aumento de población en edad de vivir en vivienda independiente por la emancipación de nuevos jóvenes, aunque en los países desarrollados este límite también se superó hace tiempo. Es más importante el número de divorcios por la necesidad de vivienda para el cónyuge que tenga que abandonar la vivienda familiar, pero generalmente en estos casos, y por los problemas económicos que suelen acarrear este tipo de situaciones, suele ocurrir que esta persona trate de alquilar, o vivir en una vivienda de su familia.

En realidad la verdadera influencia del aumento de población es debida a la inmigración. Si en un país aumenta la inmigración, como ocurrió en España en la primera década del 2000, aumenta la necesidad de vivienda automáticamente, porque aunque es poco probable que adquieran una vivienda nada más llegar, sí que permitirá a otros propietarios alquilar la suya propia y comprar una nueva. Los efectos contrarios ocurren cuando aumenta la emigración, que es lo que actualmente ocurre en España, aumentando el número de viviendas vacías. Los cambios en los flujos migratorios no suelen ser drásticos, no obstante, afectarán a aquellas promociones que se prolonguen en el tiempo durante más de tres años, que es usual.

Al inicio de este punto se incidía también en la demanda como inversión. Los inversores de vivienda pueden ser de varios tipos, pero principalmente están aquellos que compran una vivienda más además de la que ya poseen, para su posible uso por los hijos, o aquellos que compran varias para alquilarlas posteriormente o con fines especulativos y volver a venderlas cuando el precio suba. De los ejemplos comentados, los únicos que hacen daño a la demanda son los especuladores, ya que los otros están comprando para satisfacer una necesidad ya sea propia o de alquiler. Pero la presencia de especuladores solo es buena para el promotor al que le compran en ese momento, salvo que la promoción tenga diferentes fases, ya que para las siguientes tendrá como competencia las viviendas de los especuladores. Es decir, estas viviendas seguirán a la venta, y aunque quizá se podría pensar que como su precio será más elevado por el margen que añade el especulador, el mercado en realidad estará distorsionado porque es más fácil vender una vivienda ya acabada que otra sobre plano.

Como resumen a todo lo expuesto, se puede decir que aunque las fluctuaciones de la demanda son lentas debe ser estudiada con cuidado al inicio, pero también durante la vida de la promoción, para tratar de detectar su caída o posibles errores en su estimación por la contabilización de especuladores como demanda.

### 4.5.3. Caída del precio de la vivienda

La variación del precio de la vivienda puede ser mucho más rápida y de gran magnitud por lo que entra dentro de los tiempos de una promoción inmobiliaria. Los factores que influyen en él son muchos, habiéndose tratado en la sección 4.3, pero su influencia es diferente como se puede comprobar en los siguientes ejemplos.

Una gran caída de la demanda puede provocar una gran caída del precio de la vivienda, es decir, si no hay necesidad de comprar un producto no se compra independientemente de su precio. Por supuesto a fuerza de bajar el precio al final aparecerán oportunistas e inversores que comprarán la vivienda en previsión de un futuro aumento de la demanda, pero seguramente estos precios no soportarán ninguna cuenta de explotación hecha anteriormente ni el inicio de nuevas promociones.

No ocurre lo mismo con el aumento del paro. El aumento del paro, siempre teniendo en cuenta variaciones normales de la tasa, no como las habidas en España durante esta crisis, provoca que las personas afectadas por este problema no puedan comprar una vivienda, pero por supuesto esto no significa que no necesiten una vivienda, por lo que seguramente tendrán que recurrir al alquiler. Por lo tanto, aunque por supuesto indudablemente el precio de la vivienda bajará no tiene por qué ser inmediato su efecto ni de tanta magnitud como el de la caída de la demanda por población.

No se trata en este apartado de hacer un análisis en profundidad de los factores que afectan al precio de la vivienda ya que sería muy extenso. Sirva de muestra las tasas de interés de los préstamos hipotecarios, que aunque la lógica debería decir que con mayores tipos de interés habrá menor demanda y menores precios, y viceversa, en España está ocurriendo durante estos últimos 20 años justo lo contrario, siendo muy extenso el análisis de las causas de este fenómeno. Lo que se trata es simplemente de incidir en los riesgos que puede conllevar la caída del precio de la vivienda, riesgo muy real como demuestra la experiencia española.

### 4.5.4. Aumento de costes

La fluctuación de los costes puede venir condicionada por los movimientos de varios factores, mano de obra, coste de materiales básicos o coste de productos terminados que son utilizados en la obra, aumento de tasas o impuestos, etcétera.

El uso de la mano de obra depende en gran medida del grado de desarrollo del país. En países emergentes se utiliza mucha más mano de obra por su menor coste mientras que en los desarrollados se utiliza más maquinaria. Esta proporción podría hacer pensar que el aumento en los costes laborales afecte más a una obra en países emergentes que en desarrollados, pero también lo hará en estos últimos, ya que siempre su proporción en los costes totales es significativa. Su variación suele venir condicionada entre otros, por las regulaciones sobre el mercado laboral, convenios colectivos, etcétera, y por la tasa de desempleo. Sus movimientos no suelen ser bruscos.

Pero los costes de materiales básicos sí sufren grandes movimientos, como el precio del acero, el cobre, el hormigón o los combustibles. Pero la mayor parte de estos materiales no se colocan directamente, sino que necesitan una manipulación o forman parte de



#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

un producto complejo. Posiblemente los materiales que menos tratamiento tienen son el hormigón y el acero que se colocan en la estructura, pero en el caso de un aumento de precio de ellos, no tiene por qué variar el coste de la mano de obra de su colocación por encofradores, camiones de bombeo, transporte, etcétera, por lo que su aumento no es totalmente proporcional en su partida en la obra. En el resto de los materiales este efecto es todavía más acusado, por ejemplo, el aumento en el precio del cobre para cables eléctricos o aluminio para radiadores es una pequeña parte del coste de su colocación posterior por mano de obra especializada, como electricistas o fontaneros. Por lo tanto, el cambio brusco en los precios de algunas de las materias primas no tendrá una gran repercusión en el total de los costes. Sería diferente si el cambio fuera generalizado.

En cuanto al de los productos terminados, como máquinas de ventilación, solados, carpinterías, etcétera, tiene mayor efecto pero su variación de precio suele ser pequeña, excepto por ejemplo, en aumentos muy bruscos en la demanda derivados de un gran aumento de la actividad edificatoria.

##### 4.5.5. Cambios en la inflación

En los apartados anteriores se ha tenido en cuenta cambios en los precios de los ingresos, o cambios en los precios de los costes, pero considerando de forma aislada estos cambios. Esta situación es diferente de los cambios en los precios ocasionados por la inflación. En el momento de escribir esta Tesis en los países más desarrollados se está viviendo una situación de inflación muy baja o directamente deflacionaria, que preocupa enormemente a los Bancos Centrales. Pero esta situación puede cambiar en el futuro, y volver la inflación, como sigue en los países en desarrollo. Es importante tenerla en cuenta en la valoración de proyectos por sus importantes efectos en los precios, como se ha analizado en los puntos anteriores, ya que puede tener efectos positivos o negativos. La inflación es una media de los aumentos de precios, pero podría afectar de forma diferente a los precios de venta y a los costes.

Es importante resaltar que en el caso de ejecutar el proyecto con financiación externa, un incremento de la inflación sería beneficioso desde este punto de vista ya que es menor el valor del dinero que se debe devolver y viceversa.

#### 4.6. ADAPTACIÓN DE LAS OPCIONES REALES A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Una vez estudiadas las opciones reales genéricas y tras estudiar las características particulares del mundo inmobiliario, en este apartado se van a adaptar las opciones reales estudiadas genéricas a las que aparecen en el sector inmobiliario. Para ello a continuación se estudian por separado.

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

### 4.6.1. Opción aplazamiento e inversión

La opción de aplazamiento en un proyecto inmobiliario se da cuando un promotor tiene la opción, pero no la obligación, de construir en un terreno que puede ser de su propiedad o no. Con el paso del tiempo se pueden despejar las incertidumbres que amenazan al proyecto, como la evolución de la demanda, preferencias por tipologías concretas de viviendas, etcétera. Es interesante repasar lo explicado en la sección 3.2.1. Allí se observa cómo la opción de aplazamiento y de inversión son similares, es decir, para que se pueda tener la opción de aplazar es necesario tener la opción de invertir.

La aplicación de estas opciones al mundo inmobiliario es muy apropiada y presenta variantes que deben ser analizadas y adaptadas a cada caso. Por ejemplo, no debe tener el mismo tratamiento una opción de aplazamiento de un propietario de un terreno que la de un promotor que tiene una opción de compra del terreno con fecha de caducidad, por lo que existe un límite para el aplazamiento. Pero en el caso de ser propietario, también tiene inconvenientes el aplazamiento ya que se generan costes por mantenimiento del solar, impuestos, limpieza, etcétera y en el caso de contar con financiación externa por los costes de los intereses.

Si en una opción de aplazamiento genérica se tiene en cuenta el coste que supone que la competencia se adelante, en su adaptación al negocio inmobiliario su coste tiene que ser todavía mayor, ya que si la competencia comienza una promoción es muy difícil poder competir con ella ya que se necesita cierto tiempo para lanzar una promoción propia.

La opción de invertir es una opción *call* con un precio de ejercicio igual al coste de construcción y subyacente el valor actual de los flujos de caja del proyecto (Grenadier, 1996).

Se trata de una opción tipo americana ya que puede ser ejecutada en cualquier momento. El análisis tradicional del VAN es erróneo porque, aunque salga positivo, no tiene en cuenta que en cualquier momento, por cambios en las hipótesis realizadas, se puede volver negativo y ya no hay marcha atrás, ya que el coste de la construcción de la inversión es un coste hundido. Por eso no debe ser ejecutada la opción hasta que el VAN total descrito en la ecuación 2.10 sea positivo, o lo que es lo mismo, la suma del VAN tradicional más el valor de la opción de esperar mayor a cero (Alstad y Foss, 2003).

Para estudiar el mejor momento de ejecución de la promoción, se puede calcular el valor del VAN con los métodos vistos en 3.3 con fechas de inicio diferentes y escoger la que aporte mayor valor (Gracia, 2014).

### 4.6.2. Opción expansión

La opción de expansión en un proyecto inmobiliario corresponde con la posibilidad de hacerlo por fases. La posibilidad de actuar por fases tiene grandes ventajas. Una de las más importantes es la comprobación real de si las hipótesis de trabajo relativas a la demanda, precios, etcétera son correctas o no. Pero además permite secuenciar en el tiempo la inversión e incluso financiar fases posteriores con el resultado de la primera.

No siempre es posible actuar con fases, pero sí en muchas ocasiones. La primera

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

división que aparece es la de parcelas edificables. Pero no es la única, ya que en muchos edificios aparece la posibilidad de dividirlos por las juntas de dilatación de la estructura. Esta división en fases de un edificio suele estar condicionada por el diseño de las plantas de garaje ya que puede quedar inutilizada alguna planta, y en mucha menor medida por las instalaciones, solucionando estas últimas en la mayoría de las ocasiones incluyéndolas en la primera fase. Suele ser mucho más complicado dividir en fases una urbanización, pero con una negociación y diseño racional de las fases también podría lograrse. Salvo en proyectos pequeños se debería aplicar el desarrollo por fases siempre.

Llevar a cabo la primera fase genera una opción real, que puede ser valorada, para obtener información de mercado sobre el futuro de la promoción conjunta. El coste de obtener esta información es equivalente al costo y al riesgo soportados durante la primera fase. Si la primera fase tiene éxito, las siguientes fases aumentarán de valor, ya que aumentará el atractivo de la zona y conllevará a mayores ingresos. En caso contrario, se deberán cambiar las hipótesis y se esperará un mejor momento para continuar con las siguientes fases o, si es necesario, se abandonará el proyecto (Rocha *et al.*, 2007).

Si el proyecto no es bien aceptado en la primera fase, aparece la opción real de diferir las fases posteriores. Esta opción será rentable solo en el caso de que los suelos no sean propiedad del promotor y posea un derecho para construir durante un tiempo determinado o una opción de compra, y siempre que el valor de la opción exceda el coste de contrato de dicha opción manteniendo la opción de abandonar. En la figura 4.20 se muestra las opciones que aparecen si se plantea por fases y el árbol de decisión (Rocha *et al.*, 2007).

Para obtener el valor de la opción se debe calcular el VAN del proyecto en caso de construir de forma simultánea y el VAN en caso de hacerlo por fases y posteriormente restarlos siguiendo la ecuación 2.10. En el modelo planteado por Rocha *et al.* (2007) se calcula el segundo mediante el cálculo de muchos posibles escenarios para el comienzo de las fases y obteniendo la media de todos ellos. Así en el caso de ejecución simultánea y dos posibles fases, pero que en este caso no actúan como tal:

$$VAN_{simultánea} = VAN_{Fase1} + VAN_{Fase2}$$

Y para el caso de ejecución por fases, pero sin conocer la fecha concreta de inicio de la segunda fase, calculando simulaciones con diferentes fechas de inicio:

$$VAN_{fases} = VAN_{Fase1} + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n VAN_{Fase2}^{t=i}$$

La diferencia entre las dos estrategias es el valor añadido por la opción al proyecto según la ecuación 2.10. Naturalmente solo es aconsejable trabajar con fases si:

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n VAN_{Fase2}^{t=i} > VAN_{Fase2}$$

Si los costes de construcción son los mismos en el tiempo, siempre debe ser mejor trabajar por fases (Rocha *et al.*, 2007).

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

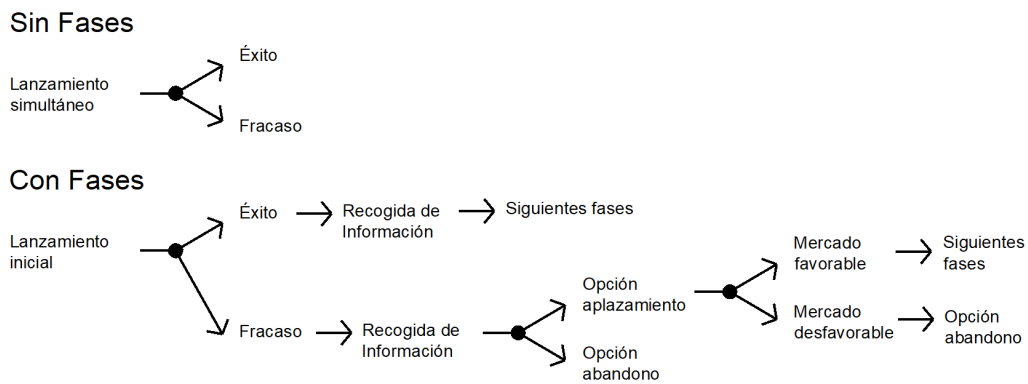


Figura 4.20.: Árbol de decisión en promoción por fases (Rocha *et al.*, 2007).

Con el método anterior se valora cual es el valor de la opción, pero en realidad el momento exacto para la expansión entre todos los escenarios calculados será el que aporte mayor valor, lo cual se entiende que es posible porque no se tienen en cuenta problemas de financiación o de organización de obra, etcétera.

Otra forma de ver la opción de expansión es la presentada por Zhao y Tseng (2003) en la que analizan la opción de expansión de un parking en altura, preparando la cimentación para que sea capaz de soportar una ampliación en el futuro. Es posible poner en funcionamiento un parking con un determinado número de plantas y posteriormente ampliarlas si la demanda es suficiente para justificar los costes. Para ello es necesario que la cimentación ya haya sido construida con el fin de soportar las cargas del parking ampliado, ya que un refuerzo posterior tiene unos costes que es muy difícil que puedan ser justificables.

En realidad en una obra de edificación hay muchas decisiones que se toman similares a estas. Por ejemplo, en locales comerciales es usual tomar la decisión de reforzar la estructura para prever la posible compra por negocios que necesiten mayor capacidad de carga. También la previsión de conductos y huecos, que consumen espacio y perjudican el diseño de las viviendas, pero que posibilitarán que los locales comerciales puedan colocar conductos de extracción que de otra forma solo se podrían poner por la fachada. O también prever espacios en cubierta para la colocación de máquinas de aire acondicionado para las viviendas u otras instalaciones. Este coste añadido sería la prima a pagar para posteriormente poder tener la opción de ampliar, y con un análisis similar

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

al que se ha hecho para el desarrollo por fases, comprobar si el coste merece la pena.

### 4.6.3. Opción abandono o reducción

Esta opción es fácilmente trasladable al mundo inmobiliario. Consiste en reducir el tamaño del proyecto totalmente (abandono) o parcialmente (reducción). Son opciones tipo *put* y americanas. Ocurre cuando en un proyecto que se está desarrollando cambian las condiciones previstas y el VAN se vuelve negativo. Si el proyecto se está desarrollando por fases se puede decidir no seguir con las fases siguientes y vender las parcelas a otro inversor. La venta en esta situación suele ser complicada ya que la información es la misma para todo el mundo, pero es posible que otro promotor con un cliente objetivo diferente, con otra red comercial, etcétera, pueda rentabilizar su inversión.

Otra forma de reducir con menos intensidad sería cambiar las calidades previstas para la promoción disminuyendo su precio, pero manteniendo la promoción en marcha. Esta opción puede tener problemas si parte de las viviendas ya han sido vendidas, por lo que habría que pactar con los clientes.

Un método de valoración de la opción de abandono o reducción consiste en adaptar el utilizado para la opción de expansión con fases (Rocha *et al.*, 2007).

Así en el caso de ejecución sin reducir y suponiendo que la Fase 1 ya está iniciada y debe ser acabada y que la Fase 2 se ejecuta:

$$VAN_{sin\ reducir} = VAN_{Fase1} + VAN_{Fase2}$$

Y para el caso de reducción por venta de la Fase 2, pero sin conocer la fecha concreta de venta de la segunda fase, calculando simulaciones con diferentes fechas de venta:

$$VAN_{con\ reducción} = VAN_{Fase1} + \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n VAN_{Venta\ Fase2}^{t=i}$$

La diferencia entre las dos estrategias es el valor añadido por la opción al proyecto según la ecuación 2.10. Naturalmente solo es aconsejable reducir si:

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n VAN_{Venta\ Fase2}^{t=i} > VAN_{Fase2}$$

Por último, de entre todos los escenarios calculados se escogerá el momento del tiempo que mayor valor de la venta aporte. Pero se debe ser cauto con estos cálculos, ya que aunque sí tienen en cuenta los costes de mantenimiento, es muy difícil valorar la incertidumbre por posibles cambios en la normativa y lo que es peor, no existe un mercado que permita desprenderse de un terreno en el momento que se quiera, sino que debe haber un comprador interesado, lo cual no siempre ocurre.

### 4.6.4. Operativas y flexibilidad tecnológica

Este tipo de opciones está más orientado a la producción en fábricas pero también pueden ser adaptados al mundo inmobiliario. En la sección 3 se analizaban varios

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

tipos como las de abandono temporal o reducción, que es como la primera pero de forma parcial. Este tipo de opciones consiste en parar temporalmente las operaciones cuando no se generan suficientes ingresos. No es aplicable a la construcción y promoción inmobiliaria pero sí que lo es a la gestión del producto terminado, por ejemplo, a hoteles en zonas de playa que tienen muy baja o nula ocupación durante los meses de invierno.

En estos casos puede ser más rentable cerrar las instalaciones y volver a abrir de nuevo con el inicio de la nueva temporada. Aunque se generan gastos de despido de personal, posible deterioro de las instalaciones por falta de uso, etcétera, la asunción de estos gastos puede ser más beneficioso para el propietario. También se puede adaptar a la gestión de alquileres, de parking, etcétera.

Otra forma de adaptación de estas opciones a los proyectos inmobiliarios puede ser realizar transformaciones en las instalaciones del edificio previstas en el proyecto debidas a cambios en la tecnología durante el proceso de desarrollo de la promoción o de los gustos de los consumidores. Por ejemplo, podrían ser cambios en el tipo de refrigeración o calefacción previstas como suelo radiante, placas solares, aerotermia, etcétera, es decir, tecnologías de reciente aparición y que deciden incluirse en el proyecto por mejor rendimiento o simplemente por modas entre los clientes que pueden provocar una venta.

Otra posibilidad de flexibilidad sería permitir al cliente cambiar la distribución de su vivienda o de las calidades. Sería un paso más avanzado que las tradicionales reformas. Se trata de permitir al cliente diseñar su propia vivienda con aplicaciones informáticas de fácil manejo. Para ello el diseño de la vivienda tiene que estar preparado para permitirlo. Pero si este diseño para hacer un edificio flexible está bien planteado puede hacer que sea el propio promotor el que plantee los cambios para reorientar el producto incluso sin haber clientes.

##### 4.6.5. Aprendizaje

Como ya se explicó en las opciones de aprendizaje genéricas en la sección 3 son opciones que pueden interferir con otras porque necesitan iniciar la promoción para aprender, lo cual no es compatible con la opción de diferir.

Aprender en promoción inmobiliaria es muy importante y puede hacerse en varios ámbitos. Por ejemplo, se puede aprender cómo es el mercado local, y aunque es mejor intentar hacerlo con otros medios como un estudio de mercado o asociándose con una empresa local, al final puede ser interesante iniciar una pequeña promoción en la que se implementen varios de los puntos sobre los que se duda y adiestrar a los vendedores para tratar de obtener esta información de los clientes.

También puede ser necesario aprender cómo se construyen y funcionan nuevas tecnologías. En el caso de instalaciones de reciente creación como las comentadas de aerotermia, suelo radiante, etcétera, parte de este conocimiento puede extraerse de los instaladores, o con visitas a otros edificios, pero el funcionamiento y comportamiento de la instalación al final solo puede hacerse con la puesta en marcha. Otro ejemplo en el que puede ser aconsejable la construcción de pequeñas promociones para aprender, por ser tan diferente de lo construido en España en los últimos años, son las recientes nor-

## 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

mativas de ahorro y consumo energético de los edificios, con las exigencias de consumo casi nulo, en la que se exigen aislamientos y un cuidado en la ejecución de los detalles constructivos para evitar puentes térmicos, etcétera.

### 4.6.6. Compuesta

Como se explicó en la sección 3 hay dos tipos de opciones compuestas, las secuenciales y las paralelas, también conocidas como simultáneas. Ambas son adaptables a los proyectos inmobiliarios. En las secuenciales se tiene que ejercer una opción con el fin de crear otra. Por ejemplo, a veces la empresa posee terrenos en los que para poder promover es necesario que se urbanicen otros que también pueden ser de su propiedad, para permitir el paso de infraestructuras con los servicios de urbanización, por lo que tras decidir ejecutar una opción la empresa tiene otra opción en su cartera.

Las simultáneas se dan cuando una opción tiene mayor duración que otra. Por ejemplo, sería muy adecuada para el caso de la opción de aprendizaje, insertándola dentro de una opción de expansión por fases, de manera que se aproveche la primera fase para aprender.

### 4.6.7. Subcontratar

La opción de subcontratar es utilizada ampliamente en la promoción inmobiliaria. En España hace varios años existía el modelo de negocio en el que la empresa promotora poseía una empresa constructora como unidad de negocio, y esa empresa constructora o las constructoras autónomas tenían en su plantilla todos los obreros necesarios para construir una obra y la maquinaria necesaria, incluso los más especialistas, excavadoras, encofradores, albañiles, instaladores, etcétera. Esta situación hoy ha cambiado y es inimaginable que una empresa constructora tenga en su plantilla electricistas o fontaneros, y cada vez son menos las que tienen encofradores o albañiles.

La pregunta es simple ¿qué modelo de negocio es mejor? Y la respuesta no es categórica sino que depende de muchos factores, aunque la elección de externalizar seguida por la inmensa mayoría de empresas no debería dejar lugar a dudas. Si se mira el punto de vista económico está claro que es más rentable subcontratar y aprovecharse de la opción real que ya se ha explicado en el capítulo 3 por lo que entonces está claro cuál es el modelo que elegirán las empresas, que no puede ser otro que el más rentable.

Pero subcontratando todas las actividades se pierde la experiencia adquirida, lo que recientemente se ha dado en llamar como “saber hacer”, lo que va ligado a la calidad que se obtendrá en el edificio construido. Se puede alegar que las empresas subcontratistas también tendrán su propia experiencia y que parece lo mismo, pero no lo es, ya que se pierde el conocimiento que tiene cada especialista del trabajo y necesidades de los demás. Las empresas tratan de paliar este problema manteniendo en su plantilla lo que también ha dado en llamarse como “núcleo duro” que está formado por técnicos muy especializados que son los que albergan la experiencia, pero esa experiencia no la pueden trasladar completamente a las obras, y lo que es peor, pueden cambiar de empresa.

#### 4. PROYECTOS INMOBILIARIOS

De todas formas, el modelo que triunfa y seguirá haciéndolo no puede ser otro que el que ofrezca mayor rentabilidad económica, y este es el de subcontratar. Para su valoración como opción real hay que contemplarla como una opción que permite evitar los despidos del personal en el caso de que la promoción no funcione como se esperaba, y se considera como una opción de venta.

##### 4.6.8. Barrera

Como ya se explicó en la sección 3 el planteamiento que hacen Kodukula y Papudesu (2006) poniendo barreras en las opciones, que sea necesario rebasar para tomar las decisiones de inversión o de esperar, es muy conveniente ya que pueden darse señales falsas para iniciar un proyecto y cambiar posteriormente la situación del mercado y darse el caso de que la decisión tomada haya sido errónea.

En el caso de las promociones inmobiliarias esta utilidad es todavía mayor ya que volver atrás genera importantes costes, por ejemplo y siguiendo con lo explicado en el punto anterior, habría que pagar indemnizaciones por rescisión o paralización de contrato con las empresas subcontratistas. Los costes de parada son muy diferentes en las distintas fases del proyecto, por ejemplo, no es lo mismo parar en la fase de planeamiento urbanístico que en la fase de construcción, por lo que el tamaño de las barreras debe ser más exigente en aquellas fases en las que los costes de parar sean mayores.

El uso de estas opciones puede provocar que la competencia tome ventaja por actuar antes, por lo que el gerente deberá decidir si el riesgo que asume por iniciar una promoción sin la implantación de una barrera está justificado con la protección que obtiene frente a las acciones de la competencia.

##### 4.6.9. Arco Iris

Como ya se explicó en el capítulo 3 las opciones arco iris son útiles en el caso de que existan múltiples fuentes de incertidumbres. Como se ha venido desarrollando a lo largo de esta Tesis, en los proyectos inmobiliarios son varias las fuentes de incertidumbre, como la evolución de la demanda, de los costes, o los riesgos urbanísticos.

El análisis normal de las opciones agrega en un solo parámetro la volatilidad de todas las fuentes de incertidumbre, pero si uno de los factores que aporta volatilidad es muy relevante, puede ser separado del resto (Kodukula y Papudesu, 2006). Por ejemplo, en la coyuntura actual, las ventas y por lo tanto los ingresos, pueden calificarse como una de las fuentes de incertidumbre más importantes, ya que por ejemplo los costes, sin prácticamente inflación, están muy controlados. Por ello se puede calcular su volatilidad independientemente del resto de variables, lo que permitirá un mejor análisis de los riesgos.

Se debe recordar que en este caso se deben usar árboles cuadrinomiales en lugar de binomiales, lo cual puede dificultar el cálculo, pero con las herramientas adecuadas este contratiempo se evita en parte, y siempre es preferible hacer un análisis más profundo para conocer mejor los riesgos del proyecto.



## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES APLICADAS A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Estas cosas se perdieron, las cosechas se calcularon en dólares y la tierra se valoraba en capital más interés, las cosechas eran compradas y vendidas antes de estar plantadas. Entonces, la pérdida de la cosecha, la sequía y la inundación dejaron de ser pequeñas muertes en vida y se convirtieron sencillamente en pérdidas monetarias. El dinero fue mermando el amor de aquellas gentes y su carácter indómito se disolvió gota a gota en los intereses hasta que de ser granjeros pasaron a ser pequeños tenderos de cosechas, pequeños fabricantes que debían vender antes de hacer.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

En este capítulo se va a plantear y elegir el modelo más apropiado para el estudio de las opciones reales de un proyecto inmobiliario. Posteriormente se implementará utilizando como herramientas el lenguaje y entorno de programación libre R ([R Core Team, 2016](#)), y como validación se utilizará el programa Excel en algunos casos sencillos y se calcularán ejemplos obtenidos de manuales de la bibliografía comprobando que se obtiene idéntico resultado.

### 5.1. MODELO UTILIZADO EN LA TESIS

En la sección 3.3 se han presentado varios modelos de comportamiento del activo subyacente que podrían adaptarse al comportamiento del subyacente de un proyecto inmobiliario. Como se ha visto en otras partes de la Tesis, como por ejemplo en la tabla 3.2 en el caso de las opciones reales, el activo subyacente son los flujos de caja que recibirá un proyecto o como se verá más adelante, más concretamente son los ingresos, los cuales en un proyecto inmobiliario vienen determinados principalmente por el precio de venta de la vivienda. Esta afirmación debe ser adaptada en función del caso que se esté estudiando, ya que por ejemplo en el caso de alquileres vendría marcada por el precio de alquiler.

Se ha hecho una investigación profunda en la bibliografía para determinar cuál podría ser el modelo más adecuado para el comportamiento del precio de la vivienda. A continuación se aporta un resumen de las conclusiones obtenidas.

El modelo más ampliamente utilizado, sin duda alguna, es el Movimiento Browniano Geométrico que fue presentado en la sección 3.3 en concreto en la ecuación 3.1.

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

$$\frac{dS}{S} = \mu \cdot dt + \sigma \cdot dz$$

donde  $\mu$  es la media, dada por la esperanza del retorno instantáneo del activo subyacente,  $\sigma^2$  la varianza o el cuadrado de la volatilidad, que son constantes, y  $dz = \varepsilon \cdot \sqrt{dt}$ , en la que  $\varepsilon$  es una variable con distribución Normal de media cero y varianza uno, que es un proceso de Wiener.

Resultaría demasiado prolijo recoger los autores que utilizan esta ecuación para modelar el comportamiento de los precios. Por citar solo unos pocos, [Mascareñas et al. \(2003\)](#), [Majd y Pindyck \(1987\)](#), [Quigg \(1993\)](#), [Capozza y Li \(1994\)](#), [Calle y Tamayo \(2009\)](#), [Rocha et al. \(2007\)](#) o [Grenadier \(1995\)](#).

Esta ecuación implica que el valor actual del proyecto es conocido, pero los valores futuros se distribuyen según la distribución Lognormal con varianza proporcional al tiempo. Por lo tanto, el valor futuro del proyecto siempre será desconocido ([Dapena, 2004](#)).

A partir de este modelo general se pueden hacer variaciones para adaptarlos al caso estudiado. Por ejemplo, en el trabajo de [González \(2003b\)](#) la volatilidad en lugar de constante se toma como estocástica, con la siguiente ecuación:

$$d\sigma = -k \cdot (\sigma - \theta) \cdot dt + \zeta \cdot dz' \quad (5.1)$$

donde  $\theta > 0$  es la volatilidad del subyacente en el largo plazo o la volatilidad media del sector,  $k > 0$  es la velocidad de ajuste de la volatilidad del subyacente a su valor medio,  $dz'$  es otro proceso de Wiener que puede estar correlacionado con el anterior, y  $\zeta$  es la volatilidad de la volatilidad del subyacente.

Siguiendo con el modelo original, si la ecuación se escribe en forma discreta corresponde con un proceso de camino aleatorio (*Random Walk*) ([Hinojosa, 2008](#)). Para ello, la vida de las opciones reales se divide en  $N$  intervalos pequeños de tiempo de longitud  $\delta t$  y se convierte en:

$$\frac{S(t + \delta t) - S(t)}{S(t)} = \mu \cdot \delta t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t} \quad (5.2)$$

Esta ecuación permite calcular el valor del subyacente  $S$  en el tiempo  $t + \delta t$  a partir del valor de  $S$  en  $t$ . Tras  $N$  cálculos aleatorios se obtiene el camino completo seguido por el subyacente.

Una variación del movimiento Browniano geométrico es el Browniano Exponencial cuya ecuación también se presentó en la sección 3.3 y que es citada por [Mun \(2002\)](#):

$$\frac{dS}{S} = e^{\mu \cdot \delta t + \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$$

con significado de los parámetros igual al del geométrico, que para su mejor interpretación se puede separar en dos factores.

$$\frac{dS}{S} = e^{\mu \cdot \delta t} \cdot e^{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$$

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

El primero de los factores,  $e^{\mu \cdot \delta t}$  es determinístico y es el que contribuye a la pendiente que marca el crecimiento de los precios. El segundo  $e^{\sigma \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\delta t}}$  es estocástico y es el que proporciona la fluctuación alrededor de la pendiente. La  $\varepsilon$  se recuerda que es la distribución  $N(0,1)$ .

Por último hay que destacar el modelo de Reversión a la Media. Este tipo de modelo ha sido utilizado también ampliamente por muchos autores como [González \(2003b\)](#), [Pelet \(2003\)](#), [Alstad y Foss \(2003\)](#) o [Cortázar et al. \(2008\)](#). Supone que a largo plazo los posibles grandes movimientos del subyacente, de los tipos de interés o de cualquier otra variable convergen a la media.

Su utilización tiene sentido cuando pueden ocurrir hechos excepcionales que alejen el valor de la media, pero que se sabe que posteriormente tenderá a acercarse a ella. Por ello, por ejemplo, [Palomares \(2010\)](#) la utiliza para modelar la cotización de una empresa eléctrica.

La ecuación del modelo es:

$$d\mu_t = k \cdot (\mu_M - \mu_t) \cdot dt + \sigma_t \cdot dz \quad (5.3)$$

donde  $k$  es la velocidad de ajuste de la tasa de crecimiento del subyacente a la de la media,  $\mu_M$  es la tasa de crecimiento media,  $\mu_t$  es la tasa de crecimiento del subyacente,  $\sigma_t$  es la volatilidad de la tasa de crecimiento del subyacente y  $dz = \varepsilon \cdot \sqrt{dt}$ , en la que  $\varepsilon$  es una variable con distribución Normal de media cero y varianza uno, que es un proceso de Wiener.

El modelo utilizado en esta Tesis será el Movimiento Browniano Geométrico. La elección de este modelo frente al Browniano Exponencial se debe a un mejor ajuste al movimiento de los precios de la vivienda en el mercado español, sobre todo en los últimos años, y frente al de reversión a la media, se puede decir lo misma conclusión, es decir, no se observa que haya una media a la que tengan que tender los precios obligatoriamente, pudiendo estar en valores muy altos o muy bajos durante mucho tiempo, y siendo además difícil de prever cual será el precio al que tenderán cuando llegue el ajuste. Además en la sección [5.3.1](#) se demuestra con los datos de precio reales y un script de R.

### 5.2. CÁLCULO DE PARÁMETROS

En primer lugar se debe estimar qué tipo de distribución sigue la variable que se va a estudiar. En el caso de los precios de cualquier activo en general, y en el de los de la vivienda en particular, es conveniente suponer la distribución Lognormal ([Palomares, 2010](#)). Si se supone que siguen la distribución normal, se está aceptando que pueden aparecer valores negativos, aunque sea con probabilidad muy pequeña y esto no es posible en la estimación de precios, ya que no pueden ser negativos. En cambio sí sería posible para la estimación de los resultados del proyecto. Por lo tanto, se supondrá que la distribución Lognormal es la que siguen los precios de la vivienda, lo cual significa que los logaritmos de los precios están normalmente distribuidos.

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Para obtener los precios se puede recurrir a diferentes bases de datos, pero sin duda una de las mejores es el Boletín Estadístico del Banco de España ([Banco de España, 2015](#)), donde se publican más de 8.000 series temporales, entre ellas muchas relativas a precios de la vivienda, ofreciéndose ya sea agrupados o segregados por tamaño de vivienda, primera o segunda mano, localización, etcétera. Por supuesto, para el cálculo de  $\mu$ , cuanto más aproximada al proyecto que se está planteando sea la serie utilizada, más ajustados serán los resultados. En apartados posteriores se usarán estos datos, y se identificará en cada momento cuál es la serie utilizada.

La ecuación del modelo es

$$\frac{dS}{S} = \mu \cdot dt + \sigma \cdot dz$$

Para obtener  $\mu$ , se calculará la media de los logaritmos de los incrementos del precio de la vivienda ([Winston, 1999](#); [Calle y Tamayo, 2009](#)).

$$\mu = \frac{\sum_1^n \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right)}{n}$$

Pero siguiendo a [Hull \(2006\)](#) y a [Alonso \(2009\)](#) cuando los datos originales han sido tratados con logaritmos, se debe aplicar el lema de Itô, y el valor de  $\mu$  se calculará con la siguiente fórmula:

$$\mu - \frac{\sigma^2}{2} = \frac{\sum_1^n \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right)}{n} \quad (5.4)$$

En cuanto al cálculo de la volatilidad  $\sigma$ , también se utilizará la misma serie que para el cálculo de  $\mu$ . En el cálculo de opciones financieras, el cálculo de la volatilidad es el parámetro que sin duda es más complicado de obtener.

En el libro de [Mascareñas et al. \(2003\)](#), Prosper Lamothe dedica un capítulo al cálculo de la volatilidad indicando principalmente dos métodos, la volatilidad histórica y la volatilidad implícita y es el que se sigue en los párrafos siguientes como guía.

Estimar la volatilidad futura con la volatilidad histórica es un método sencillo, pero no exento de riesgos. Se basa en la creencia de que un activo se comportará en el futuro de la misma manera o parecida que como se ha comportado en el pasado, es decir si en el pasado la volatilidad ha oscilado entre un 15-20 %, en el futuro es difícil que sea del 30-40 %.

Para su cálculo, partiendo de los datos utilizados para el cálculo de  $\mu$ , se calcula la volatilidad histórica a partir de la desviación estándar con la fórmula ([Mascareñas et al., 2003](#)):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n \left( \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right) - \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right) \right)^2} \quad (5.5)$$

Es muy importante saber que la volatilidad histórica así calculada será en base temporal correspondiente con los datos utilizados, pero si en las fórmulas de opciones reales

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

se está utilizando otra base temporal se deberá transformar, por ejemplo, si los datos eran mensuales y se quieren transformar a anuales:

$$\sigma_{anual} = \sigma_{mensual} \cdot \sqrt{12}$$

Un apunte importante es saber el número de datos a utilizar para calcular la volatilidad. No está claro cuál es la respuesta pero en general se propone utilizar datos o grupos de datos de tamaño similar al espacio temporal que se va a utilizar. Es decir, puede ser que el precio de un activo tenga baja volatilidad en el largo plazo pero alta en corto plazo, y que el análisis que se vaya a hacer sea a corto plazo, por lo que los datos de volatilidad más ajustados serán los del corto.

La volatilidad implícita por el contrario es más difícil de obtener, y es en general la utilizada por los mercados financieros, por ejemplo, para calcular el precio de los warrants. Para su obtención es preciso partir del precio de la opción, y sabiendo el modelo de valoración de opciones que se va a utilizar, resolver las ecuaciones teniendo la volatilidad como incógnita. Pero la gran pregunta es ¿cómo se conoce el precio de la opción si es lo que se quiere obtener? La respuesta, por comparación con el mercado, no es en absoluto tranquilizadora, ya que el mercado utiliza el mismo método.

En los mercados financieros, ya sea acertado o no, es relativamente fácil obtener el precio de la opción por comparación, es decir, si se está valorando un warrant *put* sobre el Ibex 35, con vencimiento en marzo del 2018 y precio de ejercicio 8.000, seguro que se encuentran muchos más en el mercado con las mismas características. Pero en las opciones reales, esto es mucho más complicado, porque encontrar un proyecto de las mismas características y que además haya tenido un precio, es prácticamente imposible.

Mascareñas *et al.* (2003) proponen un método que sirve como acercamiento al valor de la volatilidad en las opciones reales. Consiste en buscar empresas cotizadas que posean en su cartera únicamente proyectos idénticos al que se está valorando y en ese caso obtener la volatilidad a partir de la volatilidad histórica de las acciones de la empresa, o si existen opciones sobre las acciones, a partir de la volatilidad implícita de estas opciones.

En el caso de los proyectos inmobiliarios un tipo de empresas similares serían las actuales Socimis, y se estudiará su volatilidad en esta Tesis, pero en realidad es difícil saber qué grado de exactitud tendrá esta medida ya que la cartera de proyectos de una Socimi tiene suelos de muchos tipos, residencial, industrial, comercial, etcétera y el proyecto que se analice será de un tipo concreto.

Por último, proponen un método que solo será utilizará en caso de no tener ningún dato, que es la información obtenida a partir de la opinión de los expertos. El método consiste en preguntar a los directivos de la propia empresa o a externos cual es el rango de variación de la variable que se está utilizando. Si se supone que su distribución será la Normal, se les puede preguntar cuál es el valor medio, máximo y mínimo que esperan en un determinado plazo de tiempo, y se le asigna un intervalo de confianza del 95 %. Aunque la pregunta es muy compleja, una vez conocidos los valores, la obtención de la volatilidad es muy sencilla ya que se obtiene a partir de las fórmulas de la distribución Normal (Mascareñas *et al.*, 2003):

$$\sigma = \frac{r_{\max} - \bar{r} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad \text{ó} \quad \sigma = -\frac{r_{\min} - \bar{r} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad (5.6)$$

### 5.3. DESARROLLO DEL MODELO

En esta sección se van a escribir las bases de los programas o scripts en R ([R Core Team, 2016](#)) que permitirán hacer los cálculos de las ecuaciones vistas hasta ahora, y que se presentan en el anexo [B](#).

#### 5.3.1. El modelo Lognormal

Siguiendo lo expuesto a lo largo de la Tesis, se quiere saber cuál será la evolución de los precios del activo subyacente. Para saber cuál será el comportamiento de los ingresos del proyecto se puede estudiar la evolución de los precios de la vivienda durante los años que dure el proyecto para lo que se va a suponer que siguen el modelo Lognormal, lo cual va a ser comprobado en primer lugar.

La serie de precios utilizada para este apartado será la obtenida del archivo BE\_25\_7.8 del Boletín Estadístico del Banco de España [Banco de España \(2015\)](#) y en concreto la serie 1.176.414 que da el precio de la vivienda libre en euros por metro cuadrado según el Ministerio de la Vivienda. En la sección [4.3.1.3](#) se predice la evolución del precio según el modelo ARIMA. Pero en este capítulo se va a predecir según el modelo elegido para la Tesis, el Lognormal.

En el apéndice [B.1](#) se recoge el script de R que permite hacer todos los cálculos y obtener las gráficas que se aportan a continuación.

La serie es de tipo trimestral, comenzando en marzo de 1995 y debido al momento de elaboración de esta sección, finalizando en septiembre de 2016, por lo que toma así más de 20 años, contemplando la subida de precios debido a las etapas de crecimiento normal de España, la de la burbuja inmobiliaria, así como su pinchazo, y finalmente su incipiente recuperación. En la tabla [5.1](#) se aportan datos de las fechas más significativas y su tratamiento para la aplicación del modelo.

En primer lugar se comprueba la hipótesis de que los datos siguen la distribución Lognormal. Para ello se utiliza el paquete del programa R “fitdistrplus” ([Delignette-Muller y Dutang, 2015](#)). Los datos de los precios sin tratar no se ajustan ni a la Normal ni a la Lognormal, como se aprecia en la figura [5.1](#).

En segundo lugar se comprueba el ajuste de la ratio de los incrementos de precio, es decir, de los datos de la columna 3 de la tabla [5.1](#). Se ofrece el ajuste en la figura [5.2](#).

Como se puede comprobar el ajuste es muy bueno en ambos casos, aunque se va a elegir el modelo Lognormal por las ventajas comentadas a lo largo de la Tesis.

En primer lugar se calculan los logaritmos neperianos de las ratios, obteniendo los datos de la columna 4 de la tabla [5.1](#). La media de estos valores según la ecuación [5.4](#) y su desviación estándar permiten obtener los resultados que se ofrecen en la tabla [5.2](#).

Ahora ya es posible plantear el recorrido que seguirá el subyacente, en este caso, el logaritmo de la ratio de incremento de los precios, con la ecuación [5.2](#). Por ejemplo, si se

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Archivo	BE_25_7.8		
Número secuencial	1176414		
Descripción de la serie	Precio m2 viv. libre. Min. de la Vivienda		
Fecha	€/m <sup>2</sup>	S <sub>t</sub> /S <sub>t-1</sub>	Ln(S <sub>t</sub> /S <sub>t-1</sub> )
mar-95	670,80		
jun-95	686,00	1,022659511	0,022406598
sep-95	682,60	0,995043732	-0,004968591
dic-95	692,70	1,014796367	0,014687969
mar-96	686,00	0,990327703	-0,009719377
—	—	—	—
mar-07	2.024,20	1,016930419	0,016788697
jun-07	2.054,50	1,014968877	0,014857949
sep-07	2.061,20	1,003261134	0,003255828
dic-07	2.085,50	1,011789249	0,011720297
mar-08	2.101,40	1,007624071	0,007595155
jun-08	2.095,70	0,997287523	-0,002716163
sep-08	2.068,70	0,987116477	-0,012967236
dic-08	2.018,50	0,975733552	-0,024565729
mar-09	1.958,10	0,97007679	-0,030380046
—	—	—	—
jun-14	1.459,30	0,999931479	-6,85237E-05
sep-14	1.455,80	0,99760159	-0,002401291
dic-14	1.463,10	1,005014425	0,005001895
mar-15	1.457,90	0,996445903	-0,003560428
jun-15	1.476,80	1,012963852	0,012880541
sep-15	1.476,00	0,999458288	-0,000541859
dic-15	1.490,10	1,009552846	0,009507506
mar-16	1.492,40	1,001543521	0,001542331
jun-16	1.506,40	1,009380863	0,009337136
sep-16	1.499,70	0,99555231	-0,00445761

Tabla 5.1.: Evolución del precio de la vivienda y tratamiento de datos para modelo Lognormal (Banco de España, 2015) y (elaboración propia).



## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

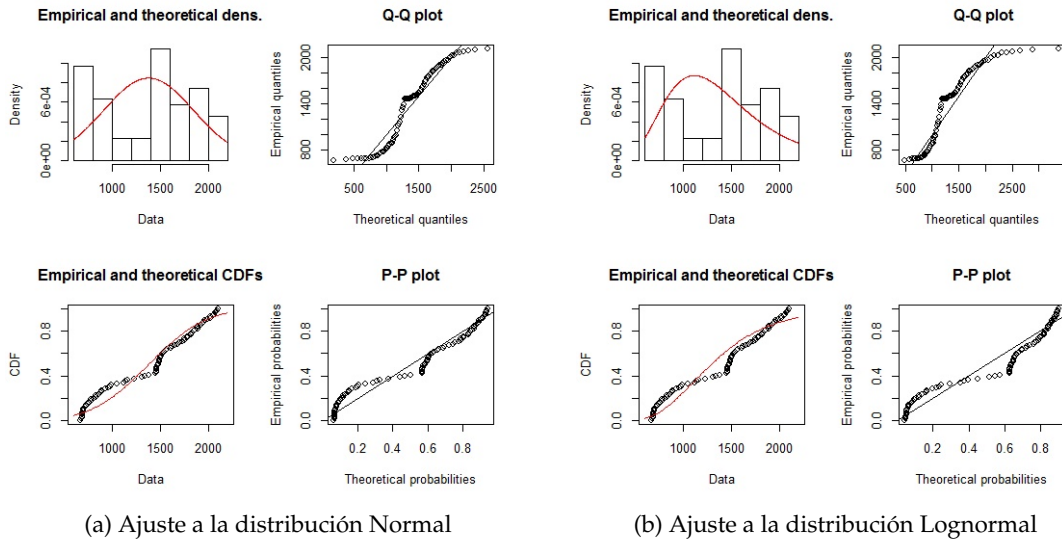


Figura 5.1.: Ajuste de la serie precio a la distribución Normal(a) y Lognormal (b) (Elaboración propia).

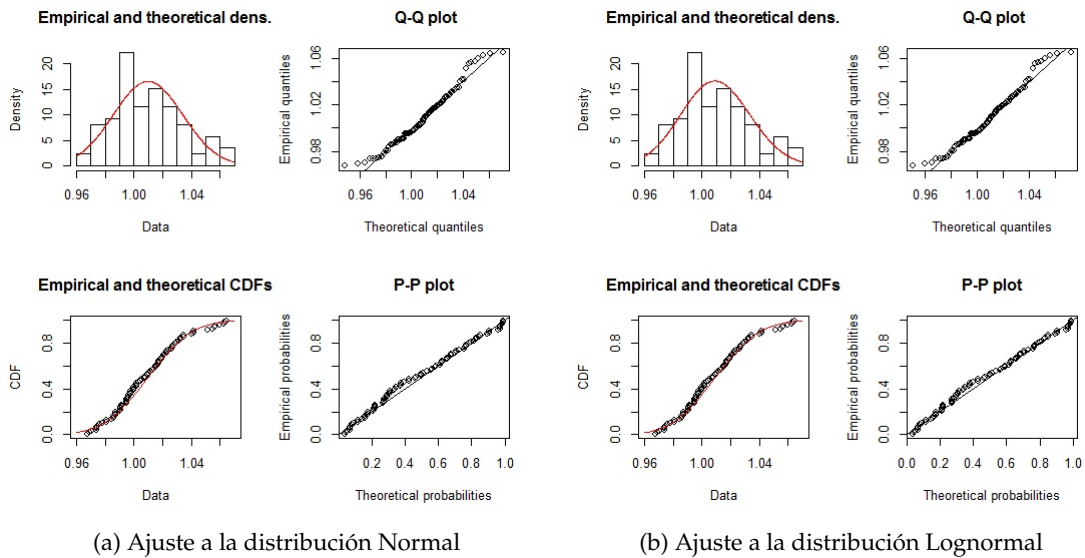


Figura 5.2.: Ajuste de la serie ratio de incremento de precios a la distribución Normal (a) y Lognormal (b) (Elaboración propia).



## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

	Valores trimestrales	Valores anuales
$\mu - \sigma^2 / 2$	0.009355225	
$\sigma$	0.02395518	0.04791035
$\mu$	0.00964215	0.0385686

Tabla 5.2.: Resultados en cálculo de parámetros del modelo Lognormal (Elaboración propia).

quiere calcular cual será el precio dentro de tres años, se debe aplicar la ecuación tres veces, con incremento de tiempo 1 año. Pero el valor que se obtiene es aleatorio, y será diferente cada vez que se calcule ya que se utilizan números aleatorios, siendo además aplicados en tres ocasiones en el caso del ejemplo.

Para evitar esto, se puede realizar una simulación de Monte Carlo, y obtener la media de todos los valores obtenidos. Como se ha explicado, el cálculo se ha hecho en R y en Excel. El cálculo en R es muy sencillo como se comprueba en el script, pero en Excel necesita programación o el uso de la herramienta Tabla y no es tan rápido como en R. En este caso se ha utilizado una herramienta de software libre denominada Montecarlito 1.10 (Auer, 2012). Su uso es muy sencillo, se trata de un archivo de Excel que debe estar abierto simultáneamente con el archivo en el que se van a realizar los cálculos. Para su uso en esta Tesis ha sido modificado parcialmente para obtener más valores útiles de la simulación, como valores máximos, mínimos, percentiles, etcétera. En la tabla 5.3 se aportan los valores obtenidos en R y con Excel con 5.000 simulaciones.

Otra forma de obtener la media y la desviación estándar para un determinado tiempo es la que se obtiene a partir de fórmulas directas. Su uso es más rápido, pero hace que se pierda la perspectiva de qué es lo que realmente se está calculando y está sucediendo. A continuación se ofrecen y se van a utilizar como comprobación del modelo (Winston, 1999; Sharpe, 2004).

$$\bar{S}_t = S_0 \cdot e^{\mu \cdot t}$$

$$\sigma_{S_t}^2 = S_0^2 \cdot e^{2 \cdot \mu \cdot t} \cdot (e^{\sigma^2 \cdot t} - 1)$$

Los valores obtenidos aplicados al ejemplo anterior son, para la media 1.683,66 y para la desviación estándar 139,95, prácticamente iguales, por lo que se concluye que el modelo construido es válido.

### 5.3.2. Fórmula de Black-Scholes

En esta sección se va a implementar un script para el cálculo del precio de una opción mediante la fórmula de Black-Scholes según lo desarrollado en la sección 3.3.1. Como allí se explica se supone que los precios del subyacente siguen un movimiento browniano geométrico, lo cual se ha comprobado que es así en el punto anterior.

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

	R	Excel
Media (Precio)	1.685,34	1.680,27
Desviación estándar	141,19	138,62
Varianza	19.625,93	19.235,58
Error estándar	1,9812	1,9614
Mediana	1.680,32	1.675,44
Máximo	2.247,95	2.264,16
Mínimo	1.255,59	1.180,01
Percentil 5 %	1.468,80	1.463,89
Percentil 25 %	1.588,97	1.587,93
Percentil 50 %	1.680,32	1.675,50
Percentil 75 %	1.774,02	1.767,20
Percentil 95 %	1.933,75	1.922,12

Tabla 5.3.: Precio en t=3 años con 5.000 simulaciones (Elaboración propia).

La fórmula para obtener la valoración de las opciones *call* es la 3.13 y la de las opciones *put* es la 3.17.

El script se aporta en la sección B.2. Para su comprobación se aplicará al ejemplo 1.1.1 desarrollado en el libro de Haug (2007) en el que se hace una recopilación de numerosas fórmulas para el cálculo del precio de las opciones, con muchas variantes y diferentes subyacentes. No se aplica de momento sobre un caso real, pero se hará más adelante. Los datos a introducir en el script de R son los de la tabla 5.4.

El script permite calcular opciones *call* y *put*. En el script se ha incluido también el cálculo con el paquete fOptions desarrollado por Rmetrics (Rmetrics Core et al., 2015). Este paquete permite realizar mediante funciones de forma sencilla parte de los cálculos que se precisan en esta Tesis. Su presentación se hace ya que además de servir como comprobación para el código escrito en la Tesis, puede ser más visual su uso para un usuario final de los scripts aquí desarrollados. No obstante no se puede utilizar para muchos de los cálculos de las opciones reales de forma directa. Es necesario leer su documentación, ya que al igual que se comprueba en el libro de Haug (2007) las fórmulas de cálculo para opciones son muchas, permitiendo fOptions el uso de varias de ellas, y podrían obtenerse resultados no esperados si no se utiliza la correcta en cada caso.

Para el ejemplo planteado, el resultado que se obtiene con las funciones desarrolladas en la Tesis es Precio *call* = 2,13. Utilizando el paquete fOptions con la función GBSOption con parámetro  $b = r$ , se obtiene el mismo resultado.

Pero como ya se ha planteado anteriormente en esta Tesis, la paradoja que se da a menudo en las opciones es que no se conoce la volatilidad por lo que en primer lugar se

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Datos para Script Black-Scholes.R	Variables
Precio del subyacente	60
Precio de ejercicio	65
Duración en años	0,25
Tipo de interés sin riesgo	0,08
Volatilidad	0,3
Tipo de opción ( <i>Call</i> = c, <i>Put</i> = p)	c
¿Precio opción conocido? ("No" = 0)	0

Tabla 5.4.: Datos para ejemplo de cálculo de opción *call* (Haug, 2007) y (elaboración propia).

debe conocer el valor de la volatilidad implícita a partir del valor del precio de la opción. El script desarrollado permite el cálculo de la volatilidad implícita a partir del precio conocido de la opción, utilizando la función "uniroot". Para ello en la última línea de datos de la tabla 5.4 se pone el valor de la opción y se obtiene el precio de la volatilidad. Por ejemplo, si se indica el precio 2,13, se obtiene una volatilidad de 0,2997.

Para hacer estos mismos cálculos en Excel la primera parte de este apartado no presenta ninguna complicación ya que se trata de fórmulas de uso sencillo, mientras que para el cálculo de la volatilidad implícita es necesario utilizar la función Buscar Objetivo.

Lo expuesto hasta ahora se refiere a opciones tipo europeo. El desarrollo de fórmulas para el cálculo de opciones americanas es mucho más complejo. Una aproximación es la desarrollada por Barone-Adesi y Whaley (1987), la cual también viene recogida por Haug (2007) y resulta posible su cálculo directo con el paquete fOptions.

### 5.3.3. Precio de opciones con simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es muy útil cuando el modelo que se está utilizando no tiene una fórmula cerrada como solución, como es la de la Black-Scholes para el modelo Lognormal. El funcionamiento del método se ha explicado ampliamente en la sección 3.3.3. En esta sección se escribe un script que permite calcular el precio de la opción con el Método de Monte Carlo mediante simulación del recorrido del precio de la opción con el modelo Lognormal. Se utilizarán los datos de la sección B.1 y aplicando la fórmula 5.4. Además de las fuentes bibliográficas citadas en dichas secciones, han sido consultadas Haug (2007) y Winston (1999).

Para calcular el precio de una opción con el método de Monte Carlo el procedimiento a seguir es muy sencillo, ya que básicamente consiste en el explicado en la sección 3.3.1. Resumiéndolo en unas pocas líneas, en primer lugar se debe elegir cuál es el modelo que sigue el precio del subyacente, en el caso de esta Tesis el modelo Lognormal. Posteriormente se simulan escenarios de movimiento del precio del subyacente, como se

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Datos para Script OpcionesMonteCarlo.R	VARIABLES
Precio del subyacente	60
Precio de ejercicio	65
Duración en años	2
Tipo de interés sin riesgo	0,08
Volatilidad	0,3
$\mu$	0,08
Tipo de opción ( <i>Call</i> = c, <i>Put</i> = p)	c
Número de escenarios	10000

Tabla 5.5.: Datos para ejemplo de cálculo de opción *call* (Elaboración propia).

ha hecho en la sección 5.3.1 y en función de si es una opción *call* o *put* se le resta a cada uno de los valores el precio de ejercicio o viceversa, haciéndolo igual a cero en caso de que sea negativo y seguidamente se actualiza el valor obtenido. Calculando la media de los valores se obtiene el valor de la opción.

Para la comprobación del script además de su cálculo con Excel, es muy interesante su comparación con el resultado obtenido con la fórmula de Black - Scholes. Para ello se hace el cálculo con el script B.3. Los datos son los de la tabla 5.5.

El valor de  $\mu$  siguiendo a Haug (2007) se puede tomar como el valor del tipo de interés sin riesgo en el caso de opciones sobre valores negociados, pero es conveniente programar de forma que pueda ser diferente como así será en el caso de opciones reales.

El valor obtenido con el script de Monte Carlo es 12,17326 mientras que con la fórmula exacta de Black - Scholes se obtiene 12,16675. Calculando con Excel y Montecarlito se obtiene 12,12834. Como se puede comprobar la precisión es muy alta en todos los casos. Dada la velocidad de cálculo de los ordenadores actuales, no se ha hecho el estudio de la precisión en función del número de escenarios ya que para el problema estudiado carece de relevancia, pero si se debe mencionar que para 10.000 escenarios la diferencia es muy grande a favor de R, ya que su tiempo de cálculo es menor a 1 segundo y con Excel y Montecarlito es de alrededor de 4 segundos.

El paquete fOptions en este caso también hace el cálculo por Monte Carlo, permitiendo mayor flexibilidad en la longitud de los intervalos de tiempo para el cálculo que el script desarrollado en esta Tesis. Para ello se ha adaptado el script que aparece como ejemplo en el manual de fOptions (Rmetrics Core et al., 2015), el cual con ligeras modificaciones se aporta en la sección B.3. Como ejemplo se ha hecho el mismo ejercicio tomando como delta un año y un día, mostrando los resultados en la figura 5.3. Se observa que para obtener valores ajustados en los resultados necesita que el intervalo de tiempo para el cálculo sea pequeño, lo cual hace que el tiempo de cálculo aumente considerablemente, en torno a medio minuto si el tiempo total es de dos años, como en el ejemplo.

Una vez desarrollados estos scripts cabe plantearse utilizarlos sobre los datos del

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

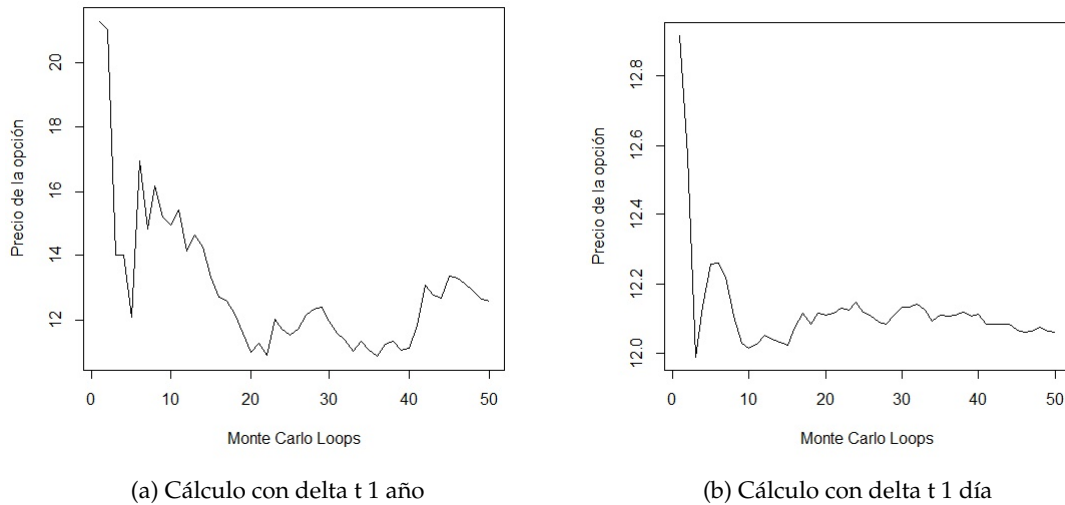


Figura 5.3.: Cálculo del precio de opciones con el método de Monte Carlo y fOptions con diferentes delta t (Elaboración propia).

ejemplo del precio de la vivienda desarrollado en la sección 5.3.1, de forma que se puede calcular cual habría sido el precio de una opción sobre el precio de la vivienda con precio de ejercicio 1.600,00 €.

Los datos de partida serían los de la tabla 5.6 y el precio de la opción obtenido es de 83,1 €.

### 5.3.4. Precio de opciones con árboles binomiales

En la sección 3.3.2 se explicó el método para calcular el precio de las opciones con árboles binomiales. En esta sección se va a desarrollar un script que permita su cálculo con R el cual se aporta en la sección B.4.

En el script se han previsto cuatro posibilidades, en función de si se trata de opciones *call* o *put*, o de opciones europeas o americanas. La programación tiene que ser diferente ya que, en el caso de americanas, el poseedor de la opción no llegará hasta la expiración de la opción y ejercerá la opción en el caso de que el valor que obtiene si la ejerce al instante es superior al valor actualizado de lo que obtendría si llegara hasta el final.

Como en el resto de scripts se ha implementado también en una hoja Excel sin programación siguiendo a Winston (1999) y con elaboración propia, pero presenta un grave inconveniente y es que es muy engorroso el cambio del número de pasos de cálculo, obligando al usuario a tener que cambiar manualmente las fórmulas de la última columna. Por supuesto, en defensa de Excel, también es posible programar en él, pero entonces se está trabajando ya de forma diferente a la que el usuario de Excel tradicional acostumbra. Por lo tanto, en este caso la potencia de R, decanta claramente la balanza

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Datos para Script OpcionesMonteCarlo.R	Variables
Precio del subyacente	1.499,70
Precio de ejercicio	1.600,00
Duración en años	3
Tipo de interés sin riesgo	0,08
Volatilidad	0,04791
$\mu$	0,0385686
Tipo de opción ( <i>Call</i> = c, <i>Put</i> = p)	c
Número de escenarios	10.000

Tabla 5.6.: Datos para cálculo de opción *call* sobre precio de la vivienda (Elaboración propia).

hacia él.

Se ha comprobado el script de tres maneras, se ha calculado un ejemplo del libro de [Haug \(2007\)](#) con solución conocida y contrastada, con Excel y con `fOptions` ([Rmetrics Core et al., 2015](#)), obteniendo en los tres casos solución coincidente con la del script de R. La comprobación se ha realizado para los cuatro tipos de opciones aunque en esta sección solo se presenta una de ellas.

Se ha utilizado la función `BinomialTreePlot` de `fOptions` ([Rmetrics Core et al., 2015](#)) para dibujar el gráfico ya que permite una visualización mejor que el resultado en una matriz. No obstante, ha sido necesario modificarla en algunos casos para mejorar la posición de los textos, ya que como se indica en el propio manual de `fOptions` es una versión preliminar.

Los datos de partida serían los de la tabla 5.7. El script arroja los siguientes resultados. En primer lugar el árbol con la evolución del precio del subyacente, que se ofrece en la figura 5.4.

En segundo lugar, el árbol con el precio de la opción que se ofrece en la figura 5.5.

El resultado calculado íntegramente con `fOptions` (incluido en el propio script) es 4,919 y el árbol 2 es el de la figura 5.6.

Es interesante observar cómo afecta al valor de una opción la diferencia entre tratarse de una opción europea o americana. En el caso de europea el valor es menor como era de esperar. Se ofrecen los resultados en la figura 5.7.

En [Winston \(1999\)](#) aparece un método de cálculo en Excel para obtener cuánto será el flujo de caja actualizado que se obtendrá con una opción *put* según la simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. Este valor no coincide con el valor de la opción, ya que la opción no tiene por qué ser ejercida, es decir, pudiera ser que la opción no se ejerciera nunca y aun así tuviera valor. Además se permite cambiar el valor de  $\mu$  sin cumplir obligatoriamente la relación indicada en la ecuación 3.4.

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Datos para Script arbolbinomial.R	VARIABLES
Precio del subyacente	100
Precio de ejercicio	95
Duración en años	0,5
Tipo de interés sin riesgo	0,08
Volatilidad	0,3
Número de pasos	5
Tipo de opción "c" call, "p" put	p
Tipo de opción "e" europea, "a" americana	a

Tabla 5.7.: Datos para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial (Haug, 2007) y (elaboración propia).

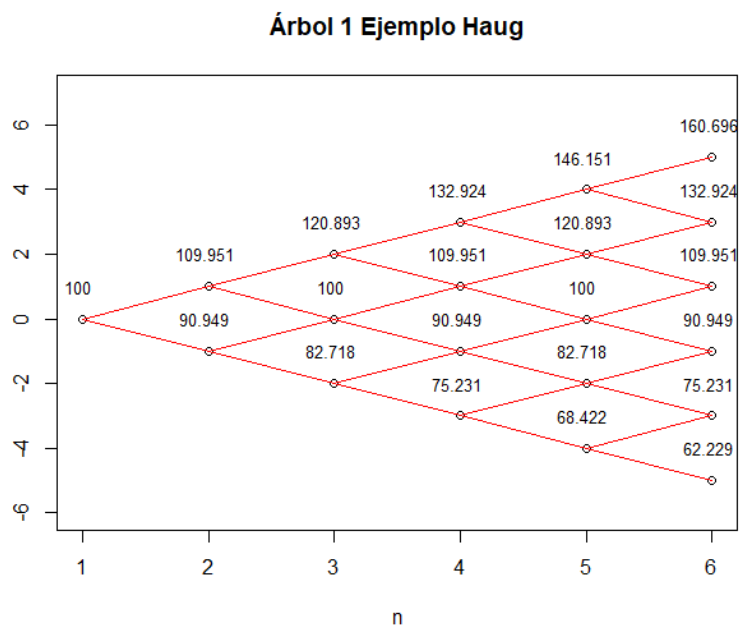


Figura 5.4.: Árbol 1 con evolución de precio del subyacente para ejemplo de la tabla 5.7 (Elaboración propia).

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

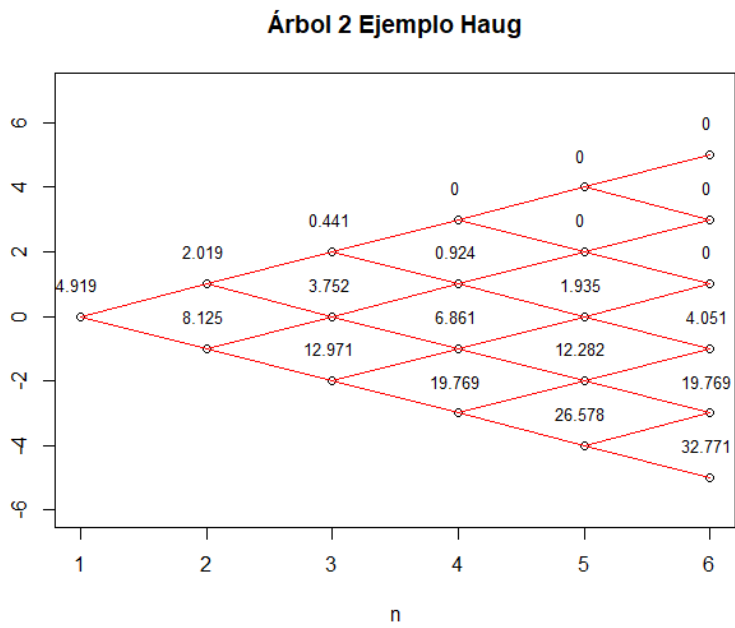


Figura 5.5.: Árbol 2 con precio de la opción para ejemplo de la tabla 5.7 (Elaboración propia).

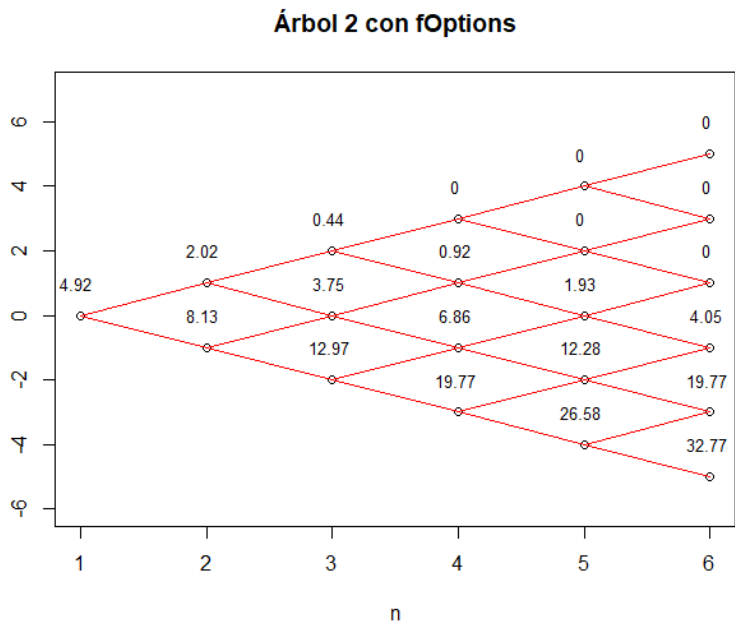


Figura 5.6.: Representación del árbol 2 del ejemplo 5.7 calculado íntegramente con fOptions (Elaboración propia).



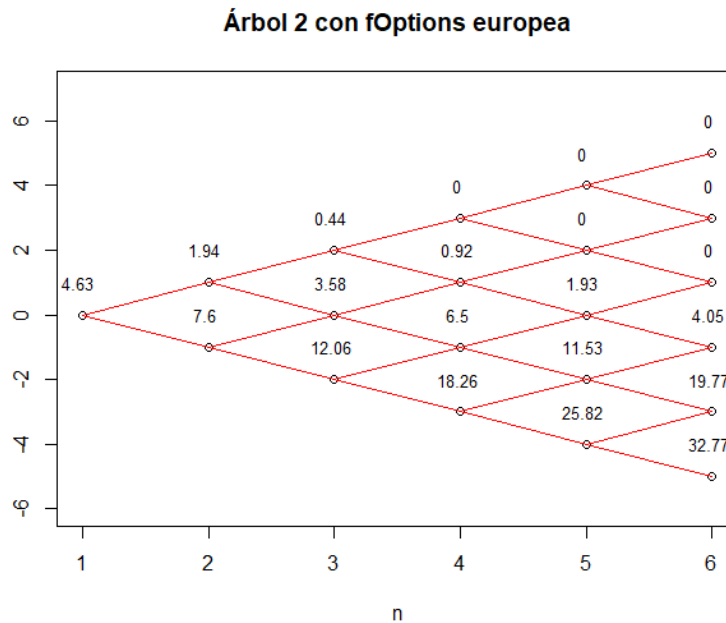


Figura 5.7.: Resultados para el mismo ejemplo que el de la figura 5.6 pero en el caso de opción europea (Elaboración propia).

Es decir, se trata de con el modelo Lognormal que se ha planteado, calcular cuántas veces se ejercerá y dependiendo de en qué momento del tiempo, cuánto será el valor que se obtendrá. En este caso es posible simular cuál será la evolución del precio del subyacente y utilizar el árbol binomial para saber si se ejerce o no la opción.

Su cálculo en Excel no es sencillo, porque precisa de mucha manipulación de la hoja de cálculo para cada caso que se va a simular, y sobre todo en el caso de que varíe el número de pasos. Por ello, basándose en la idea de [Winston \(1999\)](#) se ha escrito un script de R, utilizando un método diferente, ya que no calcula los contornos como él hace, sino que calcula un árbol para cada precio que se obtiene para poder hacer la comparación con el árbol 2. Esta forma de proceder hace más rápido su cálculo. Se ha comprobado que el resultado para las opciones *put* es idéntico al calculado con su método. Además en el script de la Tesis también se permite calcular en el caso de que se trate de una opción *call*.

Dada la importancia que tiene esta innovación en los resultados que más adelante se obtendrán en la Tesis merece la pena ofrecer en este momento el mismo ejemplo que ofrece [Winston \(1999\)](#) para validar el script. Los datos de partida serían los de la tabla 5.8.

El script arroja como resultados los árboles 1 y 2 siendo el valor de la opción 4,49. Se deja al lector la obtención de los árboles con el script.

El procedimiento seguido consiste en los siguientes pasos. En primer lugar se hacen simulaciones de recorridos del precio con un procedimiento igual al desarrollado en el

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Datos para Script arbolbinomial.R	Variables
Precio del subyacente	50
Precio de ejercicio	50
Duración en años	0,416666667
Tipo de interés sin riesgo	0,1
Volatilidad	0,4
Número de pasos	5
Tipo de opción "c" <i>call</i> , "p" <i>put</i>	p
Tipo de opción "e" europea, "a" americana	a
$\mu$	0,2

Tabla 5.8.: Datos para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial y Monte Carlo. (Winston, 1999) y (elaboración propia).

50,00	45,28	50,37	50,48	52,33	57,00
50,00	47,20	53,00	57,08	54,15	43,82
50,00	46,47	43,57	43,07	38,82	33,45
50,00	51,77	55,66	38,38	45,26	38,32
50,00	66,64	76,88	74,99	75,39	77,36

Tabla 5.9.: Extracto de la simulación de precios para ejemplo de cálculo de opción con árbol binomial y Monte Carlo (Elaboración propia)

script presentado en la sección B.3. En la tabla 5.9 se ofrece una pequeña muestra de algunos de los precios obtenidos.

En segundo lugar ha sido necesario definir una nueva función para calcular el árbol 1 de manera que se sustituye para cada uno de los pasos el valor obtenido en la rama más alta del árbol 1 original por el valor del precio obtenido en la simulación, y con el nuevo árbol 1 alterado, se calcula el árbol 2.

En tercer lugar se debe comprobar cómo se comporta la opción, es decir, si se ejecuta o no, y en ese caso cual es el rendimiento que se obtiene con ella. Este procedimiento supone un gran número de cálculos de árboles binomiales, es decir en el ejemplo calculado serán 10.000 (número de pasos 5 x número de simulaciones 1.000 x 2 tipos de árboles).

El script calcula el valor que tendrá el poseedor de la opción en el tiempo final e inicial, para cada una de las simulaciones. En el caso de una opción *put*, si la opción no se ejerce tendrá el precio del subyacente, y si se ejerce tendrá el precio de ejercicio, convenientemente actualizado. Para los precios de la simulación anterior, los rendimientos calculados de esta manera y valorados en el instante final e inicial son los que se observan en la tabla 5.10, el cual es interesante comparar con el 5.9.

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Rendimiento t inicial	Rendimiento t final
54,22	57,00
47,56	50,00
47,96	50,42
48,36	50,84
73,58	77,36

Tabla 5.10.: Extracto de rendimientos para la simulación de precios de la tabla 5.9 (Elaboración propia)

Otros resultados que se obtienen son el número de ejecuciones de la opción *put*, obteniéndose 477, aunque será diferente para cada simulación. También se obtiene una media de los valores descontados en el instante inicial 55,16, que como se observa es superior al que se obtendría de sumar a 50 el valor de la opción obtenida en un primer momento, 4,49. Esto se debe, como ya se ha comentado anteriormente, a que el parámetro  $\mu$  escogido no cumple la ecuación 3.4. Esto da una gran libertad en el cálculo de simulaciones y para tomar decisiones con escenarios en los que el precio se comporte de formas diferentes que lo hecho hasta el momento actual.

Por último, el rendimiento obtenido por la opción, solo en los momentos en los que se ejecute es 3,65 dependiendo de la simulación, que coincide con el del ejemplo de [Winston \(1999\)](#), 3.71, por lo que se da por válido el script.

### 5.4. ADAPTACIÓN DE LOS SCRIPTS AL CÁLCULO DE OPCIONES REALES

En la presente sección se va a explicar qué script de los presentados hasta ahora debe utilizarse para el cálculo de las diferentes opciones reales o si es preciso su adaptación. Los diferentes tipos de opciones ya han sido explicadas ampliamente en el capítulo 3 y su adaptación a proyectos inmobiliarios en la sección 4.6 por lo que no es preciso volverlo a hacer y se dará por conocido, por lo que se mencionarán los conceptos de forma rápida de forma que se agilice su lectura.

Los scripts han sido testados con numerosos ejemplos de la bibliografía, aunque aquí por razones de espacio solo se aporta uno que puede aportar valor didáctico. En el momento de hacer los cálculos para cada caso se planteó la posibilidad de recoger en la Tesis los ejemplos hechos por otros autores o plantear otros con números diferentes. En realidad el ejercicio es exactamente el mismo, y como al recoger los ejemplos de otros autores permitía a la vez comprobar que los scripts calculaban correctamente, se tomó esa decisión.

Como se verá, en muchas ocasiones no es posible la utilización de la fórmula de Black-Scholes para el cálculo de las opciones reales, e incluso es necesaria la adaptación de los

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

scripts para su cálculo con un árbol binomial y en algún caso, escribir uno totalmente nuevo. Siguiendo la numeración expuesta en la sección 4.6 se exponen a continuación:

1. Aplazamiento e inversión. Para evaluar este tipo de opciones se puede utilizar tanto árboles binomiales como fórmulas cerradas como la de Black-Scholes. Como se va a comentar en los siguientes tipos de opciones, para otros tipos no siempre es posible hacerlo. Las analizadas en este apartado son opciones tipo *call*. Kodukula y Papudesu (2006) ofrecen un ejemplo numérico que se calcula con el script a continuación. Se trata de una compañía que puede esperar 5 años hasta poner en marcha su producto y que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 160 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, que no es el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 30% y el tipo de interés sin riesgo del 0,05. La empresa tiene la posibilidad de comenzar su inversión aplazándola hasta cinco años y el valor de la inversión es 200 u.m. En este caso el valor de la opción de aplazamiento puede ser obtenido mediante fórmulas cerradas como por ejemplo con la fórmula cerrada de Black - Scholes o de Barone - Adesi en función de si se trata de opciones europeas o americanas, que aparecen en el script de la sección B.2, obteniendo un valor de 43,62 u.m. También se pueden obtener con el script del árbol general de la sección B.4 recordando que es una opción *call*, obteniendo 42,76 u.m. Las diferencias son debidas a que como es sabido la fórmula cerrada es más precisa, mientras que el valor del árbol tiende al de la fórmula cerrada si se aumenta el número de pasos. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.8.

El árbol 2 que se obtiene con el script, el cual ofrece directamente el valor de la opción de aplazamiento, se ofrece en la figura 5.9.

Cuando el valor de alguno de los valores del árbol es cero, significa que la opción de invertir no aporta valor y no se ejecuta la opción. En el resto de las casillas para saber si se invierte o no, sería necesario comprobar si su valor proviene de restarle al valor correspondiente del árbol 1 el precio de ejercicio, en cuyo caso significaría que sí se ha ejecutado, por lo que el método del árbol binomial aporta más información que el de las fórmulas cerradas.

2. Opción expansión. Este tipo de opciones es recomendable evaluarlas mediante árboles binomiales por su flexibilidad y sencillez, aunque Mun (2002) indica cómo hacerlo con fórmulas cerradas. El mismo autor ofrece un ejemplo numérico que se evalúa a continuación. Son opciones tipo *call*. Se trata de una compañía que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 400 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 35% y el tipo de interés sin riesgo del 0,07. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.10.

La empresa tiene la posibilidad de expandir su negocio doblando su negocio comprando a uno de sus competidores por un precio de 250 u.m. En este caso el script general que aparece en la sección B.4 debe ser también modificado. En concreto la función que calcula el árbol 2 de modo que compare el valor del proyecto sin cambios, con el valor del proyecto si se hace el cambio, es decir 100%

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

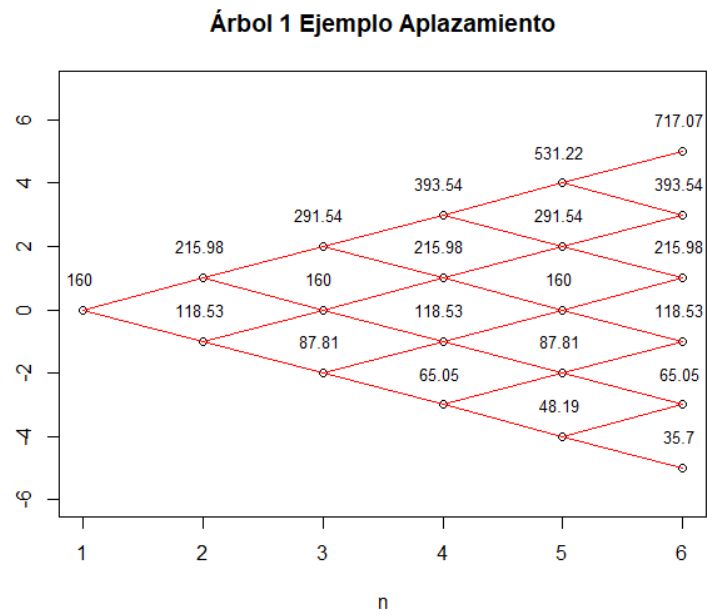


Figura 5.8.: Árbol 1 del ejemplo de la opción aplazamiento (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

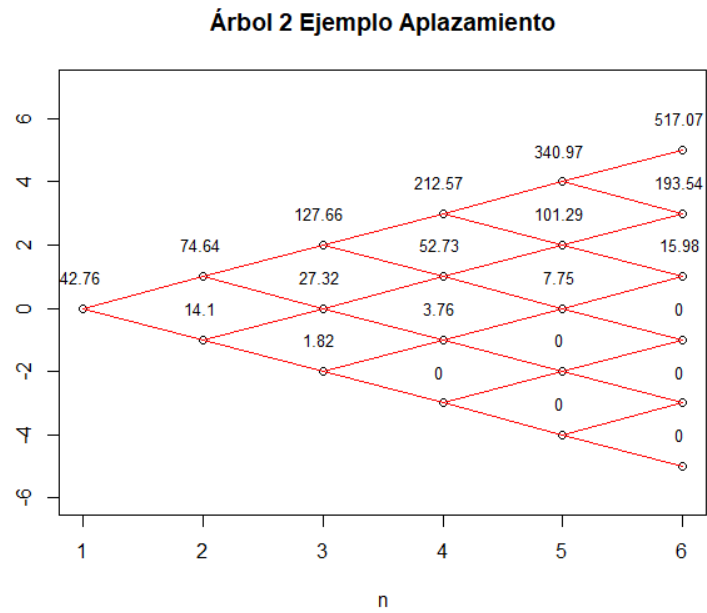


Figura 5.9.: Árbol 2 del ejemplo de la opción aplazamiento. (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia)

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

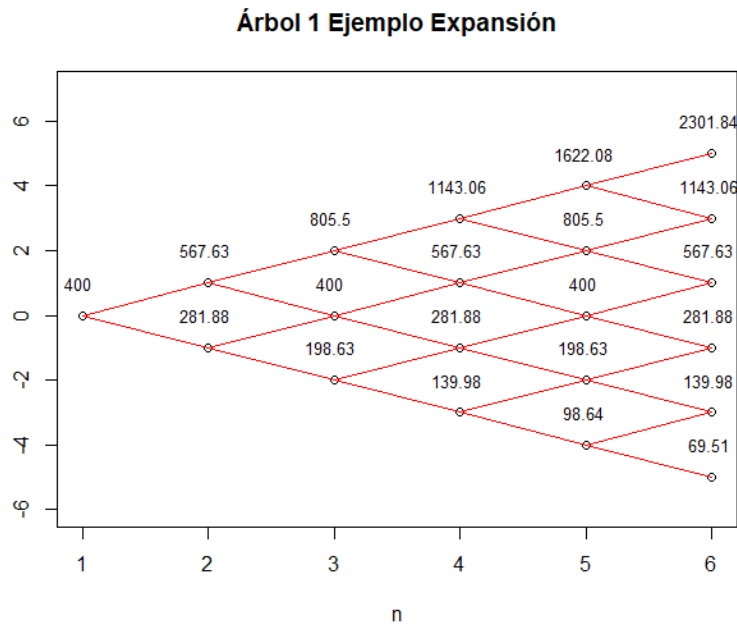


Figura 5.10.: Árbol 1 del ejemplo de la opción expansión (Mun, 2002) y (elaboración propia).

del valor del árbol 1 menos el valor de compra. El nuevo script aparece en la sección B.4.1. Ha sido necesario también modificar la hoja de datos de partida para incluir el porcentaje de expansión y del valor de compra, así como el cálculo final con la simulación de Monte Carlo. El árbol obtenido se muestra en la figura 5.11.

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar en qué nodos se produce la expansión. Para ello sería necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la expansión. No se hace porque en este momento no es necesario, pero resulta muy sencillo. Para el cálculo concreto del valor de la opción, aparecen diferencias entre la bibliografía. Para Mun (2002) el valor de la opción no se debe obtener de la resta de los dos valores iniciales de cada árbol. Según este autor, la forma de hacerlo debe ser restando del valor obtenido en el árbol 2, el valor que se tiene en el proyecto si se expande inmediatamente, es decir, aplicando al valor inicial del árbol 1 la expansión. En este caso para obtener el valor de la opción expansión se debe hacer el siguiente cálculo:  $638,30 - (400 \times (1 + 1) - 250) = 88,30$  u.m. El valor de la diferencia entre el árbol 2 y el valor de la opción, 550 u.m., es el valor estático de los dos proyectos, es decir, si no se expande no se tiene el valor añadido sobre el proyecto sin expandir, aunque sí el valor de la opción.

Pero según Mascareñas *et al.* (2003), Damodaran (2007) y Kodukula y Papudesu (2006) el valor se obtiene de la resta del valor obtenido del árbol 1 al del árbol

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

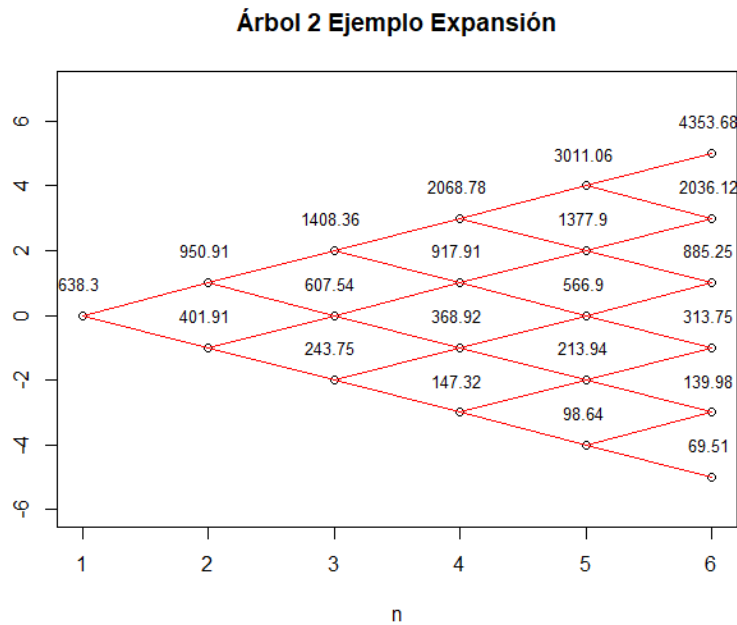


Figura 5.11.: Árbol 2 del ejemplo de la opción expansión. (Mun, 2002) y (elaboración propia)

2 siendo en este caso para obtener el valor de la opción expansión el siguiente cálculo:  $638,30 - 400 = 238,30$  u.m.. Aunque los resultados son muy diferentes, por supuesto, ambas formas de cálculo tienen sentido, pero sabiendo qué es lo que se está haciendo, ya que con el primer sistema se está teniendo en cuenta, que la posibilidad de ampliar es válida para todo el mundo y se cuenta el nuevo proyecto como válido para todos, aunque quizá debiera restar también el valor de la inversión inicial del primer proyecto; y en el segundo método se está valorando el incremento total respecto al primer proyecto.

Si se aplica para el cálculo el script que aparece en la sección B.2 que permite realizarlo por las fórmulas cerradas de Black - Scholes, con los datos precio de subyacente 400 u.m., precio de ejercicio 250 u.m., duración 5 años, tipo de interés sin riesgo 0,07, y volatilidad 0,35, se obtiene el valor de la opción *call* 238,86 u.m. lo cual coincide con la interpretación de Mascareñas *et al.* (2003), Damodaran (2007) y Kodukula y Papudesu (2006) y será la que se seguirá en esta Tesis.

Una vez más, destacar la gran potencia que tiene el uso de árboles binomiales, porque fácilmente se podrían haber añadido otras restricciones, por ejemplo ser diferentes en distintos periodos de tiempo.

También ha sido adaptado el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo. También ofrece el número de expansiones que se produce, de forma que ofrece una visión más clara de cuál será el comportamiento

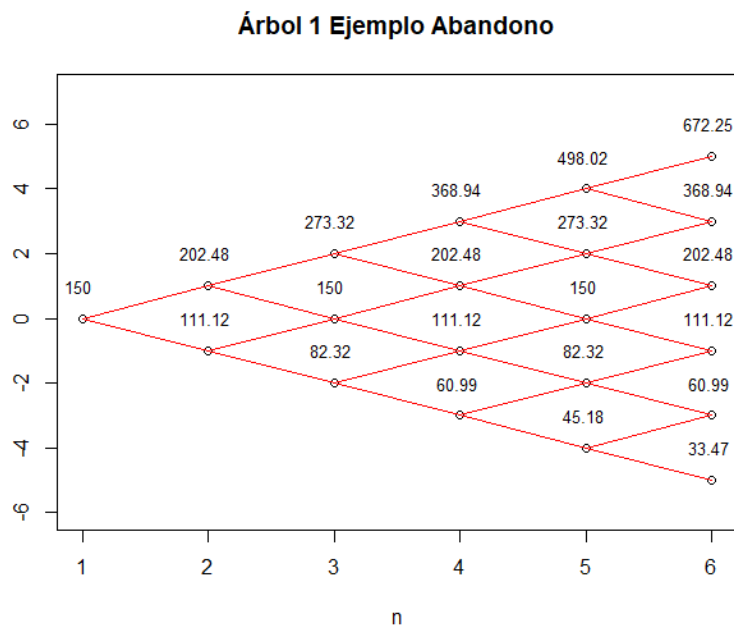


Figura 5.12.: Árbol 1 para ejemplo de opción de abandono (Mun, 2002) y (elaboración propia).

final del proyecto.

3. Opción abandono o reducción. Se trata de una opción *put* con precio de ejercicio el dinero que se obtiene de la venta del proyecto y subyacente los flujos de caja obtenidos si se continúa con él. El ejemplo numérico de Mun (2002) es el de una empresa farmacéutica que va a obtener unos flujos de caja de 150 u.m. si continúa con el proyecto y además puede vender su proyecto por 100 u.m. en los próximos 5 años. El valor de la volatilidad es de 0,3 y el del tipo de interés 0,05. En este caso el valor de la opción de abandono puede ser obtenido con los scripts de la fórmula cerrada de Black - Scholes o Barone - Adesi Whaley, recogidos en la sección B.2 y del árbol general de la sección B.4, obteniendo un valor de 6,6412 u.m. En la figura 5.12 se observa el árbol 1.

Pero también puede alterarse la función que calcula el árbol 2 de manera que compare el valor de los flujos de caja del proyecto frente al valor de rescate, lo cual se hace en el script que se recoge en la sección B.4.2. Esto hace que el árbol 2 que se obtiene aporte información adicional frente al del cálculo de la opción estándar que solo da el valor de la opción. En la figura 5.13 se ven los valores obtenidos.

El resultado que se obtiene, 156,64 u.m. es el valor del proyecto más el valor de la opción de abandono, por lo que para obtener el valor de la opción será preciso restar el valor del proyecto sin flexibilidad, en este caso, 150,00 u.m., obteniéndose por lo tanto un valor para la opción de 6,64 u.m., es decir, el mismo que con el



## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

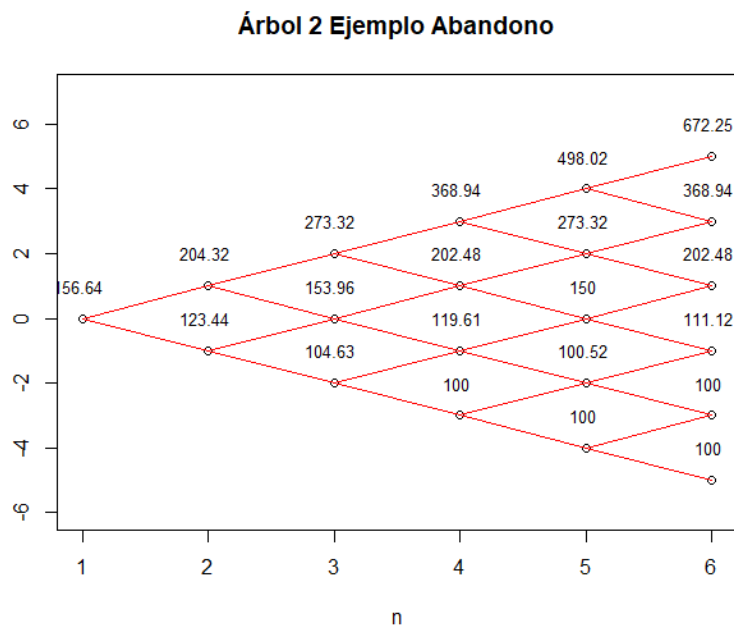


Figura 5.13.: Árbol 2 para ejemplo de opción de abandono (Mun, 2002) y (elaboración propia).

script estándar. Pero en este árbol se ve en cada nodo el máximo entre el valor del proyecto y la opción de abandono, de manera que si se observa que coinciden con el valor de abandono, 100 u.m., se comprueba que en ese nodo se ha producido el abandono del proyecto.

Por el contrario, para la opción de reducción es muy complicado utilizar una fórmula cerrada como la de Black - Scholes, aunque Mun (2002) muestra cómo hacerlo. El mismo autor recomienda utilizar árboles binomiales, ya que el resultado obtenido es muy similar e igualmente rápido. En el ejemplo que él muestra se trata de una compañía que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 1.000 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 50 % y el tipo de interés sin riesgo del 0,05. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.14.

La empresa tiene la posibilidad de contraer el 50 % de su negocio vendiéndoselo a uno de sus proveedores, recibiendo a cambio 400 u.m. En este caso el script general que aparece en la sección B.4 debe ser también modificado. En concreto la función que calcula el árbol 2 de modo que compare el valor del proyecto sin cambios, con el valor del proyecto si se hace el cambio, es decir 50 % del valor del árbol 1 más el valor de rescate. El nuevo script aparece en la sección B.4.3. Ha sido necesario también modificar la hoja de datos de partida para incluir el porcentaje de reducción y del valor de rescate. El árbol obtenido se muestra en la figura 5.15.

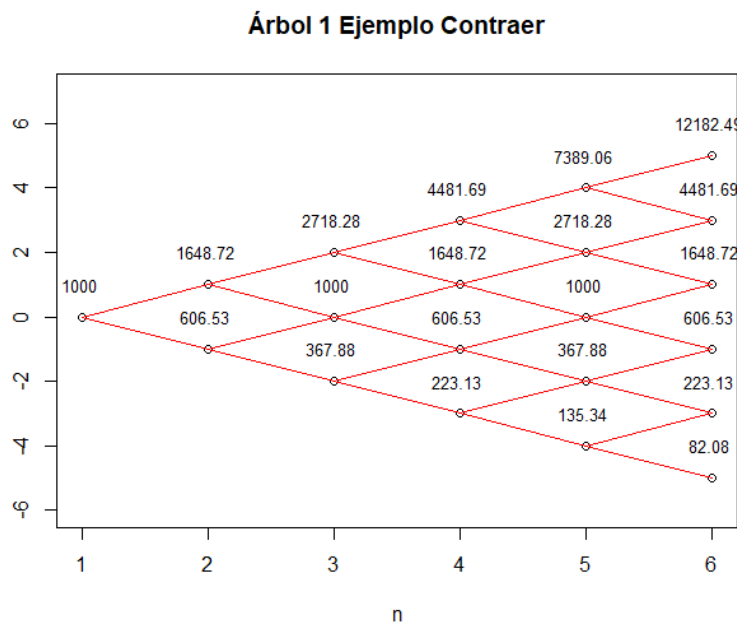


Figura 5.14.: Árbol 1 del ejemplo de la opción contraer (Mun, 2002) y (elaboración propia).

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar en qué nodos se produce la contracción. Para ello sería necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la contracción. No se hace porque en este momento no es necesario, pero resulta muy sencillo. El valor de la opción contraer es 105,61 u.m., es decir, la diferencia entre el valor inicial del árbol 2 y el del árbol 1.

Una vez más, destacar la gran potencia que tiene el uso de árboles binomiales, porque fácilmente se podrían haber añadido otras restricciones, por ejemplo ser diferentes en distintos periodos de tiempo.

También han sido adaptados los scripts para que calculen los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo. También ofrece el número de abandonos o de reducciones que se producen, de forma que ofrece una visión más clara de cuál será el comportamiento final del proyecto.

- Operativas y flexibilidad tecnológica. El script para este tipo de opciones debe hacerse a medida para cada caso o incluso en algunos será suficiente con el script general. Por ejemplo en el caso de una empresa en la que se está planteando iniciar o parar de producir cada año, se deberá calcular como una opción *call* con subyacente los flujos de caja que se obtendrán y precio de ejercicio el coste de reanudar la actividad, mientras que si lo que se está valorando es parar, se utilizará la opción *put* con precio de ejercicio el valor que se obtiene por parar, es decir el

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

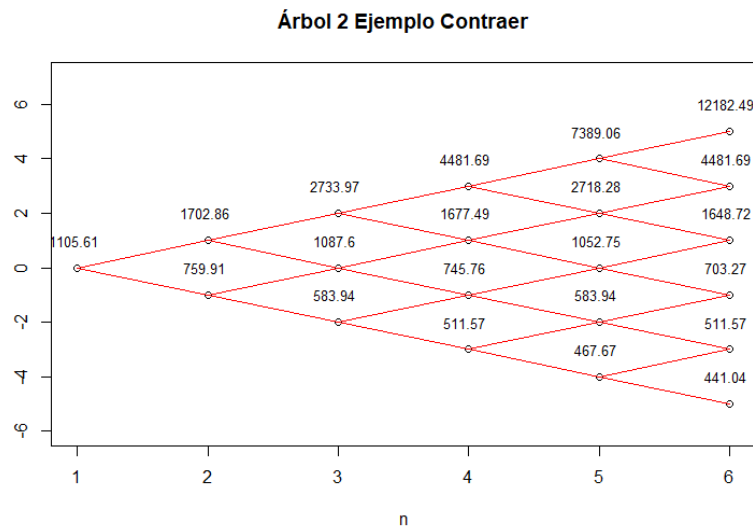


Figura 5.15.: Árbol 2 del ejemplo de la opción contraer (Mun, 2002) y (elaboración propia).

ahorro de costes y subyacente los ingresos del nuevo proyecto.

Otra opción sería el cambio de actividad, que aparece cuando un proyecto puede ser cambiado en su forma de explotación o directamente cambiado por otro. En el libro de Mascareñas *et al.* (2003) aparece un ejemplo, que consiste en el análisis de un parking que puede vender sus plazas u optar por alquilar. Basado en dicho ejemplo, aunque con datos diferentes, se ha desarrollado un script que aparece en la sección B.4.4 y permite el análisis de situaciones similares. Lo que se debe hacer en primer lugar es calcular dos árboles binomiales del tipo 1, uno para cada proyecto alternativo. Los datos para el primer proyecto serían unos flujos de caja esperados de 250 u.m., con una volatilidad de 0,2 y un tipo de interés sin riesgo de 0,05, y para el segundo se ha estimado un flujo de caja de 280 u.m. y una volatilidad de 0,3. El coste de cambiar entre los dos proyectos es de 40 u.m. Aunque podría no parecer interesante el cambio porque parecen mayores los gastos que el incremento de flujos de caja, el aumento de volatilidad hace necesario el análisis. Los dos árboles tipo 1 serán los de las figuras 5.16 y 5.17.

El árbol 2 que muestra la valoración de proyecto y la comparación que hace entre cambiar al segundo proyecto o mantenerse en el primero se muestra en la figura 5.18.

El árbol 2 nos ofrece el valor del primer proyecto al que se le añade el valor de la opción, por lo que para obtener el valor de la opción se deberá restar del valor del árbol 1, obteniendo un valor de 19,08 u.m. Por lo tanto, sí que tiene valor la opción de cambio, y esto es debido a que, pese a que los costes de cambio son altos, la mayor volatilidad del segundo proyecto lo valora. De la comparación del árbol

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

Árbol 1 Ejemplo Flexibilidad 1er Proyecto

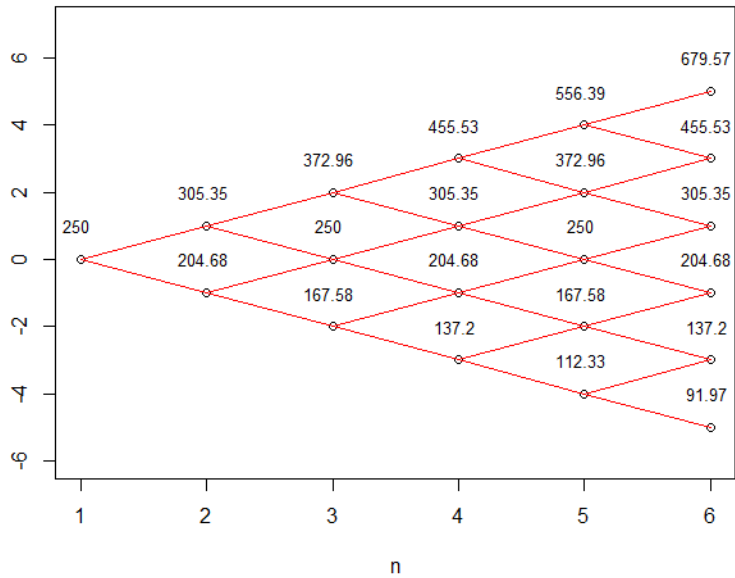


Figura 5.16.: Árbol 1 del primer proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en Mascareñas *et al.* (2003)).

Árbol 1 Ejemplo Flexibilidad 2º Proyecto

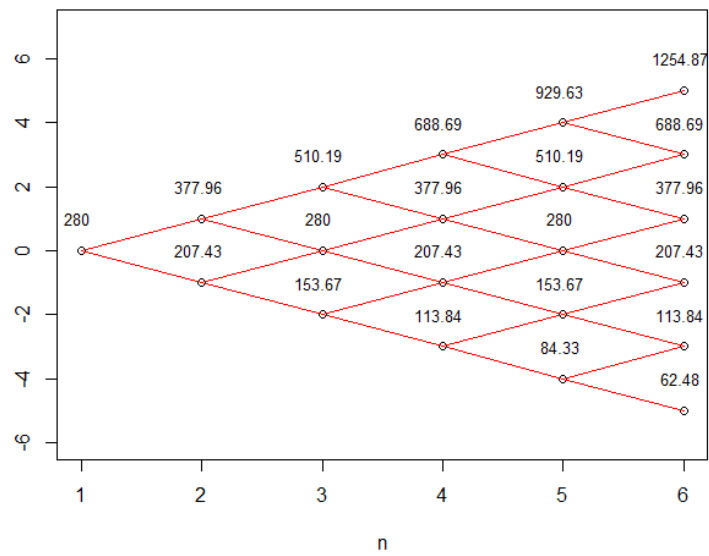


Figura 5.17.: Árbol 1 del segundo proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en Mascareñas *et al.* (2003)).

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

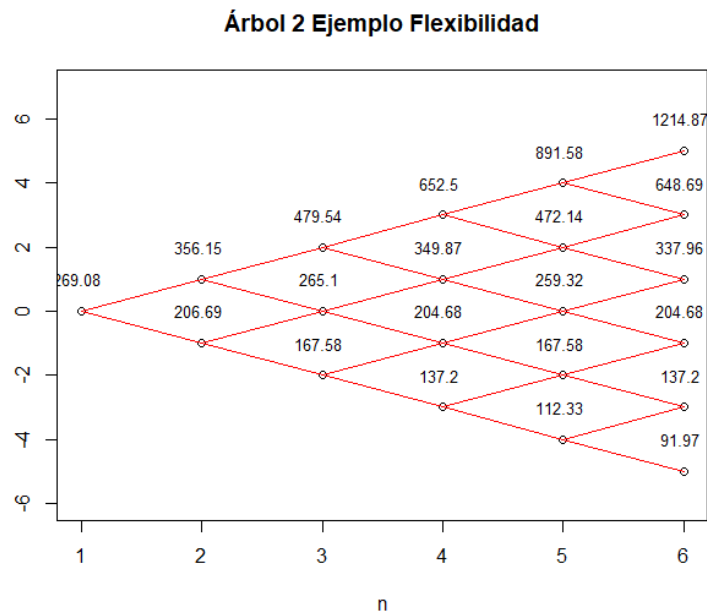


Figura 5.18.: Árbol 2 del ejemplo de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia basado en [Mascareñas et al. \(2003\)](#)).

2 con el árbol 1 del primer proyecto se deduce en qué momentos temporales es aconsejable el cambio, ocurriendo en aquellos en que los valores son diferentes. También ha sido adaptado el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo y para que ofrezca el número de cambios de proyecto que se producen, de forma que ofrece una visión más clara de cuál será el comportamiento final del proyecto.

5. Aprendizaje. Este tipo de opciones son opciones tipo *call*, en las que se realiza una pequeña inversión con el fin de aprender u obtener más información. Por esta razón puede ser estudiada con los scripts de la opción de expandir, si la nueva inversión es un porcentaje determinado sobre la primera, o con el script general, tratándola como una opción de aplazamiento de la futura inversión. Además, como se ha comentado en la sección 3 también pueden ser tratadas como opciones compuestas, que son desarrolladas en el siguiente punto. Por todo ello no es necesario crear un script independiente para ellas.
6. Compuesta. Las opciones compuestas pueden ser de dos tipos: secuenciales y paralelas. Las secuenciales consisten en opciones que aparecen tras haber finalizado otra opción, se podrían denominar opciones sobre opciones. Estas opciones podrían ser analizadas con fórmulas cerradas con el mismo procedimiento que se va a explicar para hacerlo con árboles binomiales adaptando los scripts escritos hasta ahora. [Kodukula y Papudesu \(2006\)](#) ofrecen un ejemplo numérico que se

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

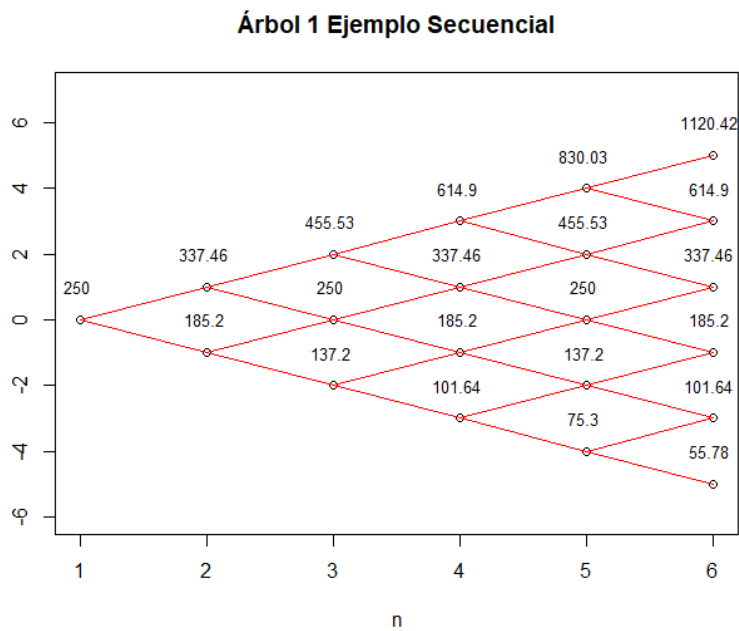


Figura 5.19.: Árbol 1 del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

evalúa a continuación. Se ha escrito un script en la sección B.4.5 que permite su cálculo, aunque para su aplicación a otro tipo de proyectos seguramente deba ser modificado ligeramente. Se trata de una compañía que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 250 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 30% y el tipo de interés sin riesgo del 0,06. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.19.

La empresa se enfrenta a una inversión secuencial, es decir, el proyecto tiene tres hitos en los que hay que decidir si se sigue hacia adelante invirtiendo más, o detiene el proyecto, sin obtener nada. Después del primer año tiene la opción de seguir con el proyecto invirtiendo 30 u.m., después del tercer año tiene la opción de seguir con el proyecto invirtiendo 90 u.m. y después del quinto año tiene la opción de seguir con el proyecto invirtiendo 210 u.m. En este caso el script general que aparece en la sección B.4 debe ser modificado, pero no del mismo modo que se ha hecho en el resto de las opciones. Es decir, la función `farbol2` calcula correctamente el valor de la opción, pero aquí se debe ir cambiando el árbol sobre el que opera ya que debe ser el árbol de la opción anterior. Las partes modificadas del nuevo script aparecen en la sección B.4.5. Ha sido necesario también modificar la hoja de datos de partida para las tres opciones, con su respectivo momento temporal de aplicación. A continuación se muestra el proceso de cálculo secuencial. En primer

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

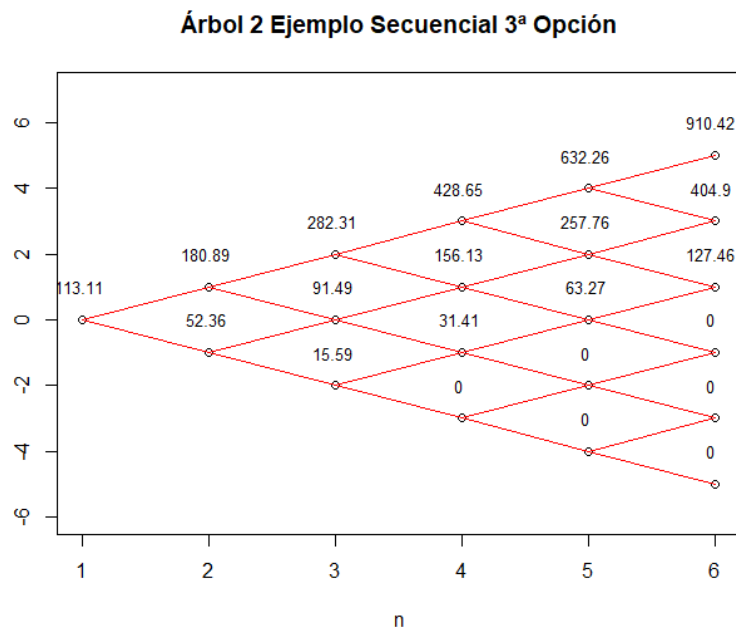


Figura 5.20.: Árbol 2 temporal para la tercera opción del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

lugar se aporta el árbol 2 temporal obtenido como si solo existiera la última opción en la figura 5.20.

Pero el valor de la opción no es 113,11 porque para llegar a este valor hay que pasar primero por otras dos opciones que podrían no haberse ejercido. Por ello se debe volver a calcular el árbol 2 desde el momento temporal de la segunda opción hacia atrás, pero tomando como árbol 1 el árbol 2 temporal obtenido para la tercera opción. Es decir, el árbol 1 sobre el que se aplicará la función que calcula el árbol 2 será el árbol que se ofrece en la figura 5.20 pero solo hasta la fila y columnas del horizonte temporal de la opción 2, en este caso hasta las número 4. Se vuelve a calcular el árbol binomial 2 para la segunda opción con su precio de ejercicio y se obtiene el árbol 2 temporal que se observa en la figura 5.21.

Pero el valor de la opción tampoco es 63,19 porque para llegar a este valor hay que pasar primero por la primera opción que podría no haberse ejercido. Por ello se vuelve a hacer el mismo proceso, pero ahora con los valores de la primera opción y con su momento temporal. Es decir, el árbol 1 sobre el que se aplicará la función que calcula el árbol 2 será el árbol que se ofrece en la figura 5.21 pero solo hasta la fila y columnas del horizonte temporal de la opción 1, en este caso hasta las número 2. El árbol 2 definitivo se observa en la figura 5.22.

El valor de las opciones reales compuestas será 41,04 u.m. Por lo tanto, el VAN del proyecto será el valor de los flujos de caja menos el valor de las inversiones

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

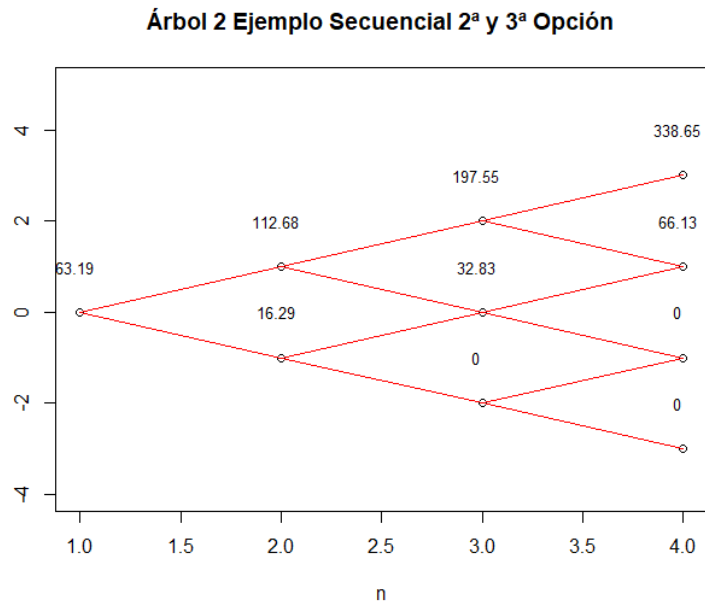


Figura 5.21.: Árbol 2 temporal para la segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

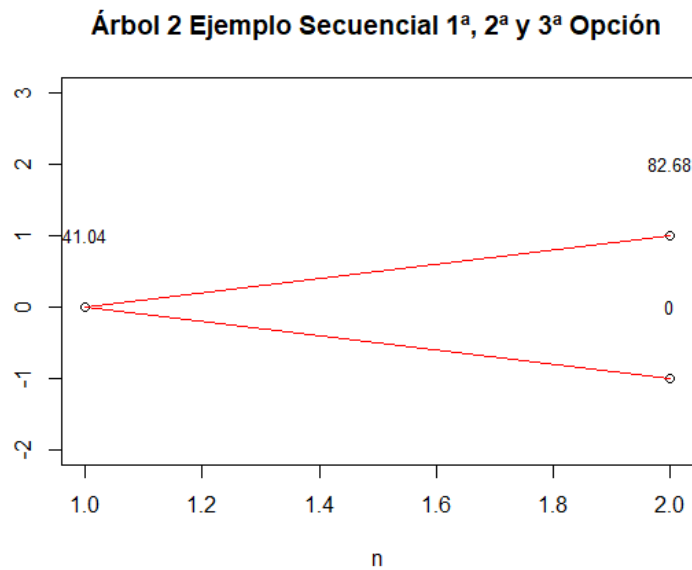


Figura 5.22.: Árbol 2 definitivo para la primera, segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).



## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

necesarias, que en este caso son los tres valores mencionados, aunque deberían ser actualizados al momento actual con el tipo de interés con riesgo que se elija para el proyecto y se le debe sumar el valor de las opciones reales.

Por otra parte para el cálculo de opciones compuestas paralelas se puede utilizar todo lo expresado hasta ahora con una pequeña diferencia. Una opción compuesta paralela se da en el caso de que una empresa tenga dos opciones sobre un proyecto y además su horizonte temporal sea el mismo, pero con la restricción de que para darse una, primero se deba dar la otra. Es decir, sería el mismo ejemplo que en el caso anterior, pero coincidiendo los valores temporales de todas, pero con la restricción de que la inversión de la primera opción debe ser hecha antes que la segunda y lo mismo con la tercera. Esto no quiere decir, por lo tanto, que las tres opciones se vayan a hacer en el mismo momento.

Por lo tanto, se calcularía el árbol 2 temporal de la tercera opción, y ese árbol sin eliminar ninguna fila y columna sería el árbol 1 para el cálculo del siguiente árbol 2 y así sucesivamente. No se aporta un nuevo ejemplo, por su similitud con el anterior.

En este caso no se ha escrito el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo dado que, aunque el procedimiento para hacerlo es el mismo que el seguido para el resto de las opciones, el hecho de que tenga que ser modificado para adaptarlo al proyecto concreto hace que no merezca la pena escribirlo para un ejemplo teórico.

7. Subcontratar. Cuando una empresa subcontrata una parte o la totalidad de su actividad, se puede comparar con una opción de reducción de su negocio. Por una parte renuncia a desarrollar parte de su negocio y por lo tanto a recibir los ingresos que habría generado. En la opción de reducción se recibe a cambio una cantidad porque la vende a un tercero. En este caso esta cantidad es equiparable a los ahorros que le supone a la empresa tanto en personal, instalaciones, etcétera. Por lo tanto, no se considera necesario traer un ejemplo concreto ya que el script sería el mismo que el escrito en la sección B.4.3 y los resultados similares a la opción contraer. En Suárez (2004) se aporta un ejemplo concreto de este tipo de opciones con las características comentadas en el párrafo anterior.
8. Barrera. Una de las críticas que recibe en ocasiones el método de las opciones reales es que, aunque en las opciones financieras el precio de ejercicio está definido, en las opciones reales no es tan claro ya que tomar la decisión de abandonar o de invertir según una cantidad determinada no es tan fácil, ya sea por razones psicológicas, por motivos políticos, etcétera. Por ello, es normal que se marque un margen para tomar la decisión que en este caso sería la barrera, pero manteniendo el precio de ejercicio en el caso de que se ejerza. Las barreras pueden ser aplicadas a opciones de tipo *call* o *put*, por ejemplo, para las de inversión o abandono. Este tipo de opciones es posible analizarlas con fórmulas cerradas, las cuales aparecen en el libro de Haug (2007) pero no se traen a esta Tesis por su complejidad y por lo relativamente sencillo que resulta analizarlas con árboles binomiales adaptando

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

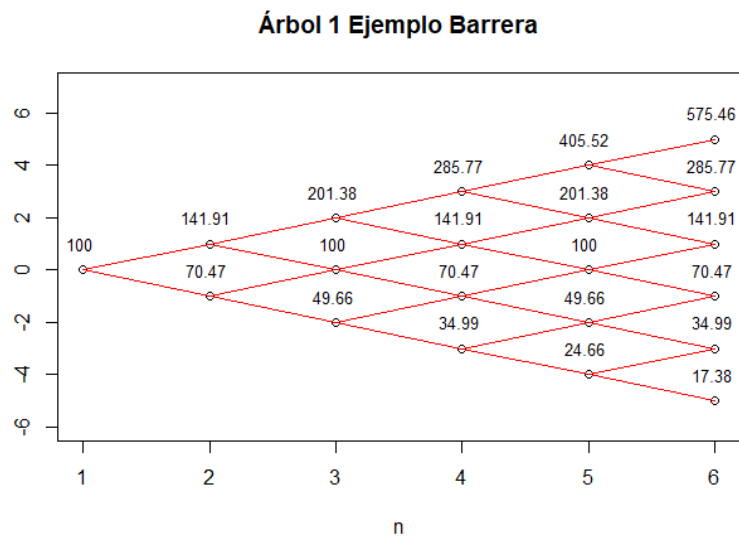


Figura 5.23.: Árbol 1 del ejemplo de la opción inversión con barrera (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

los scripts escritos hasta ahora, como se muestra en la sección B.4.6. Kodukula y Papudesu (2006) ofrecen un ejemplo numérico para los dos tipos de opciones, habiéndose testado el script con ambos tipos, pero a continuación solo se ofrece el tipo *call*. Se trata de una compañía que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 100 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 35% y el tipo de interés sin riesgo del 0,05. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.23.

La empresa tiene la opción de invertir 130 u.m. o mantener la opción abierta, pero en lugar de si el precio del subyacente supera las 130 u.m. solo se invertirá en el caso de que supere el valor de 150 u.m. que será la barrera. La cantidad invertida seguirá siendo 130 u.m. En este caso el script general que aparece en la sección B.4 debe ser también modificado. En concreto la función que calcula el árbol 2 de modo que la decisión de inversión la tome comparando con el precio de la barrera pero invierta la cantidad prevista. El nuevo script aparece en la sección B.4.6. Ha sido necesario también modificar la hoja de datos de partida para incluir la barrera. El árbol obtenido se muestra en la figura 5.24.

El valor del proyecto será 26,63 u.m., por lo que el valor de la opción será  $26,63 - (100 - 130) = 56,63$  u.m. Si se hubiera hecho el cálculo con el script general el valor obtenido habría sido mayor, 29,43 u.m. y 59,43 u.m. respectivamente. Esto era de esperar ya que, al imponer condiciones más restrictivas para poder ejercer la opción, esta disminuye de valor.

Para la opción de abandono con barrera, el ejemplo y las conclusiones son muy

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

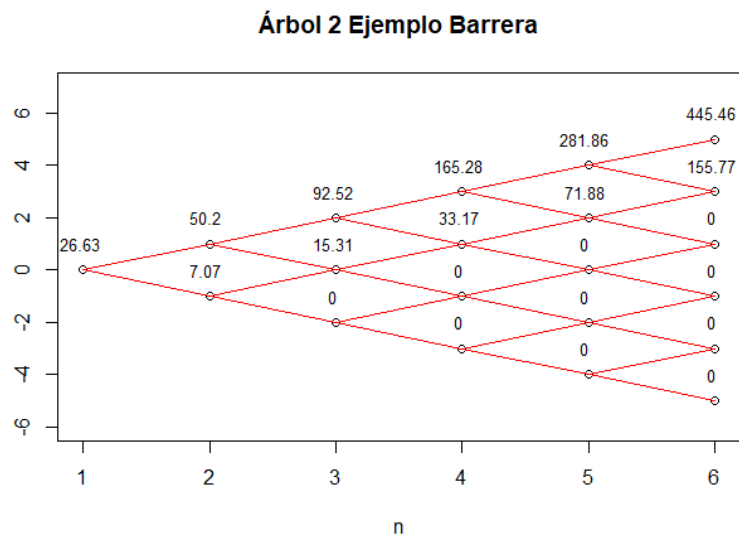


Figura 5.24.: Árbol 2 del ejemplo de la opción inversión con barrera. (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

similares. Si el proyecto disminuye su valor por debajo de una determinada barrera lo podrá vender por un valor que no coincide con el de la barrera y que será superior al de aquélla. El mismo script utilizado en el ejemplo anterior permite hacer los cálculos para barreras tipo *put*.

También ha sido adaptado el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo. En este caso el script tiene que permitir el cálculo para los dos tipos de opciones *call* y *put*. También ofrece el número de inversiones o abandonos de proyecto que se producen, de forma que ofrece una visión más clara de cuál será el comportamiento final del proyecto.

- Arco Iris. Como se explicó en la sección 3.2.9 generalmente las incertidumbres de todas las variables se agrupan en una sola medida de volatilidad agregada. Pero si en el proyecto que se está analizando la incertidumbre o volatilidad de una de las variables es más importante que el resto y precisa de un análisis separado, en ese caso se pueden tener dos medidas de la volatilidad, la de una variable por separado, y la del resto agregada en otra medida. También podría hacerse el análisis con dos grupos de variables. Este tipo de opciones no es posible analizarlas con fórmulas cerradas, y tampoco es posible hacerlo con árboles binomiales, ya que deberá ser hecho con árboles cuadrinomiales lo que obliga a rehacer completamente el script original. Se planteó al comenzar a programar la posibilidad de partir de un script general hecho para árboles cuadrinomiales y a partir de él calcular los binomiales como un caso particular, pero ni académicamente ni desde una perspectiva de programación, tiene sentido, por lo que se ha escrito un script que

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

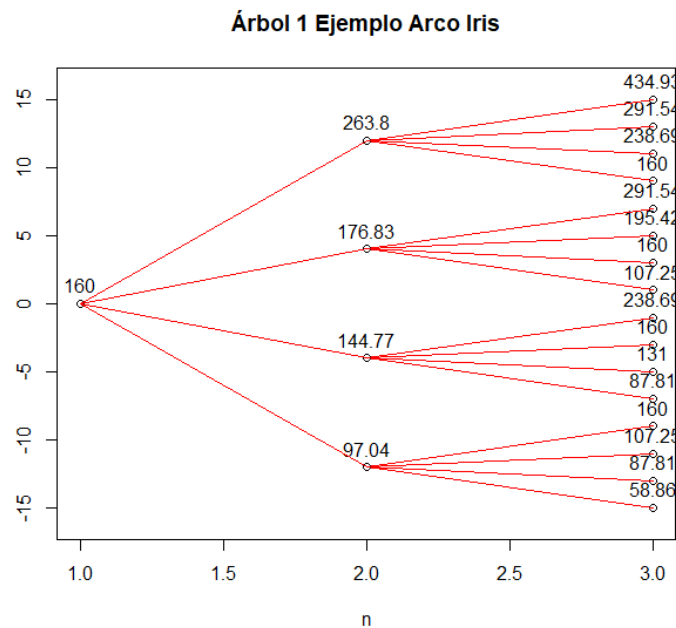


Figura 5.25.: Árbol 1 del ejemplo de la opción arco iris (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

calcula árboles cuadrinomiales, que aunque a primera vista podría parecer similar, es muy diferente en cuanto al método de cálculo, asignación de valores dentro de la matriz, etcétera. El script se ofrece en la sección B.4.7. Kodukula y Papudesu (2006) ofrecen un ejemplo numérico para una opción tipo *call* y americana, pero por supuesto, el script de esta Tesis permite calcular también para *put* y europeas y sus combinaciones. Se trata de una compañía que tiene que decidir si invierte en un proyecto del cual espera obtener unos flujos de caja de 160 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad de una variable (en su ejemplo la demanda del mercado) es del 30% y la del resto de variables (en su ejemplo solo coste de materias primas) es del 20%, y el tipo de interés sin riesgo del 0,05. El cálculo se ha hecho para dos años. Hay que advertir que el número de valores de la última columna es  $4^t$ , es decir, para dos años 16 valores. En el caso de 5 años como casi todos los ejemplos que se han hecho en esta Tesis, serían 1.024, por lo que, aunque el script lo calcula sin problemas, por razones de espacio, se ha hecho un cálculo para 2 años. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.25. La función `BinomialTreePlot` del paquete `fOptions` (Rmetrics Core et al., 2015) ha sido necesario modificarla totalmente para hacer el gráfico.

La empresa tiene la opción de invertir 200 u.m. o mantener la opción abierta. El árbol obtenido se muestra en la figura 5.26.

El valor del proyecto será 34,76 u.m., por lo que el valor de la opción será 34,76

5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

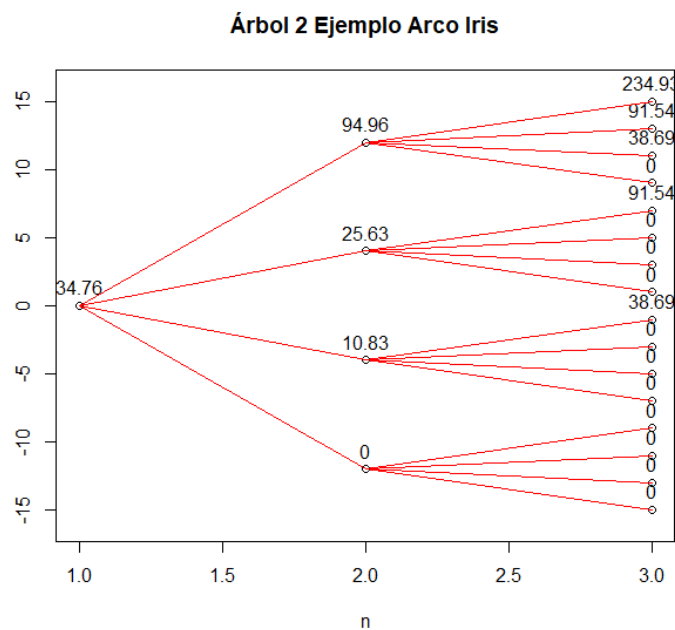


Figura 5.26.: Árbol 2 del ejemplo de la opción arco iris (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

-  $(160 - 200) = 74,76$  u.m. No se debe cometer el error de comparar los resultados obtenidos con este script con los obtenidos con el script general con una volatilidad del 30% o con una volatilidad del 20%, que se obtiene 21,52 y 11,67. Tampoco la suma de ambos, 33,19 tiene que ser el mismo resultado, aunque serviría como aproximación, para proyectos de pocos años de cálculo, ya que realmente el cálculo debe hacerse con la volatilidad agregada resultante de combinar todas las variables conjuntamente.

En este caso no se ha escrito el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo dado que, aunque el procedimiento para hacerlo es el mismo que el seguido para el resto de las opciones, se dejará para futuras líneas de investigación.

10. Escoger. Este tipo de opción es una opción formada por varias de las anteriores actuando sobre el mismo proyecto. Es decir, se da cuando sobre un proyecto se tiene la opción por ejemplo de abandonar, expandir, contraer o continuar. Este tipo de opciones es muy común en la práctica. Este tipo de opciones no es posible analizarlas con fórmulas cerradas, pero es relativamente sencillo analizarlas con árboles binomiales adaptando los scripts escritos hasta ahora, como se ha hecho en la sección B.4.8. Aunque no se trata de una opción *call*, sino combinada con *put*, en la toma de datos, por guardar una similitud con el resto de los scripts se ha hecho suponiendo que se trata de una opción *call*. Kodukula y Papudesu (2006) ofrecen

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

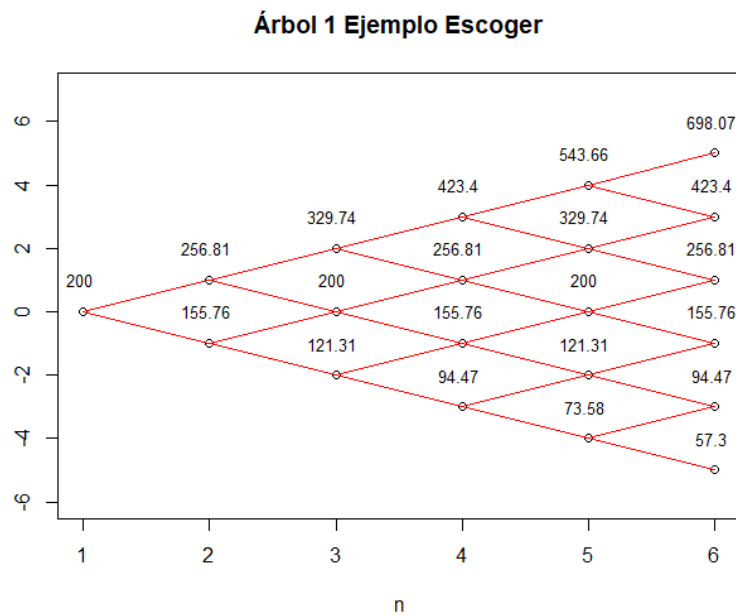


Figura 5.27.: Árbol 1 del ejemplo de la opción escoger (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

un ejemplo numérico que se evalúa a continuación. Se trata de una compañía que espera obtener con su negocio unos flujos de caja de 200 u.m. actualizados con el tipo de descuento de ese negocio, se recuerda que no con el tipo sin riesgo. La volatilidad es del 25 % y el tipo de interés sin riesgo del 0,05. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 5.27.

La empresa tiene las siguientes posibilidades para escoger: Seguir con el proyecto original, abandonarlo obteniendo un valor de rescate de 100 u.m., expandir su negocio aumentando un 30 % con un coste de 50 u.m., o reducir su proyecto un 25 % recibiendo a cambio 40 u.m. En este caso el script general que aparece en la sección B.4 debe ser también modificado. En concreto la función que calcula el árbol 2 de modo que compare el valor del proyecto sin cambios, con el valor del proyecto si se hace el cambio, que en este caso son tres alternativas. El nuevo script aparece en la sección B.4.1. Ha sido necesario también modificar la hoja de datos de partida para incluir el porcentaje de expansión y contracción, con sus respectivos valores de compra y venta. El árbol obtenido se muestra en la figura 5.28.

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar en qué nodos se produce la expansión. Para ello sería necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la expansión, reducción y abandono. No se hace porque en este momento no es necesario, pero resulta muy sencillo. En este caso como se explicó en las opciones de expansión, lo que se obtiene es el valor

## 5. MODELIZACIÓN EN R DE OPCIONES REALES

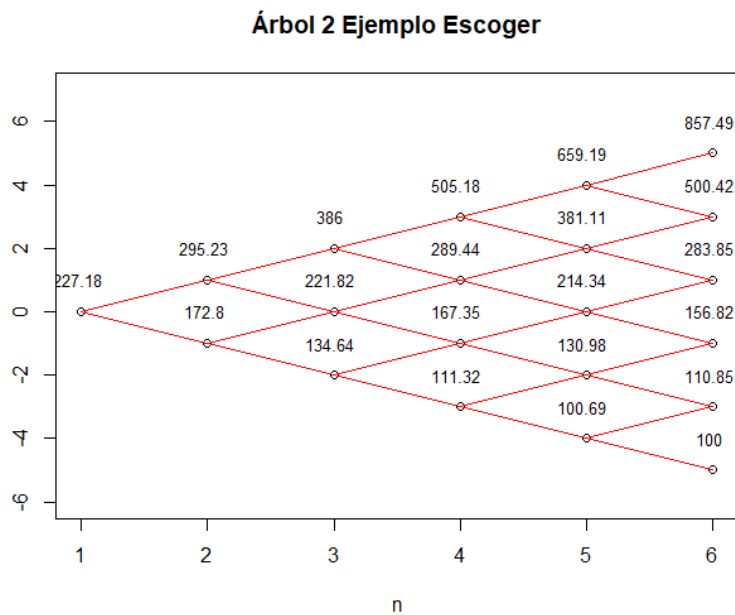


Figura 5.28.: Árbol 2 del ejemplo de la opción escoger (Kodukula y Papudesu, 2006) y (elaboración propia).

del proyecto con las opciones, pero el valor de la opción no es directamente la diferencia, ya que por ejemplo, si se expande el proyecto en el momento inicial, el valor de los flujos de caja sería  $200 \times 1,3 - 50 = 210$ . También es interesante hacer el cálculo del valor del proyecto por separado con sus scripts respectivos obteniendo, para la opción de abandono 201,39 u.m., para la de expansión 224,36 u.m. y para el de reducción 202,81 u.m. Como se puede comprobar, si se hubiera restado a estos valores el valor inicial del proyecto, es decir, 200 u.m. y se hubieran sumado, se habría obtenido 228,56, superior a lo obtenido contemplando las tres conjuntamente. Esto es muy importante porque el valor de las opciones no es aditivo, sino que interaccionan unas con otras de modo que la suma de ellas de forma individual siempre será menor que de forma conjunta.

Una vez más hay que destacar la gran potencia que tiene el uso de árboles binomiales, porque fácilmente se podrían haber añadido otras restricciones o escoger entre solo dos tipos de opciones.

También ha sido adaptado el script para que calcule los rendimientos obtenidos con simulación de Monte Carlo. También ofrece el número de expansiones, reducciones o abandonos de proyecto que se producen, de forma que ofrece una visión más clara de cuál será el comportamiento final del proyecto. Es conveniente aclarar que, para los datos del problema, en el que resulta tan barato expandir, el número de expansiones supera por mucho al resto.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

No me pasa nada, dijo, lo único es que yo no me marcho.  
¿Cómo que no?, exigió Padre. ¿Qué quieres decir con eso de que no te marchas? Pero si ya tenemos todo preparado. Debemos partir. Aquí no tenemos dónde estar.  
No digo que os quedéis, explicó el abuelo. Vosotros debéis ir. Pero yo me quedo. He estado pensando casi toda la noche. Esta es mi región y yo debo estar aquí. Me importa un comino que allá haya uvas y naranjas para dar y vender. Yo no voy. Esta tierra no vale nada, pero es la mía. No, vosotros marchad. Yo me quedo aquí en mi sitio.  
Se agruparon a su alrededor. Padre dijo: No es posible, abuelo. Dentro de nada los tractores pasarán por estas tierras. ¿Quién va a cocinar para ti? ¿Cómo vivirás? No te puedes quedar. Te morirás de hambre si no tienes a alguien que te cuide.  
El abuelo exclamó: Maldita sea, soy viejo, pero aún puedo cuidar de mí mismo. ¿Cómo se las arregla Muley? Yo lo puedo hacer tan bien como él. Te digo que no voy, ya te puedes ir haciendo a la idea. Llévate a la abuela si quieres, pero yo no voy, y punto.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

El principal objetivo buscado en la Tesis es aplicar la teoría de opciones reales a un proyecto de inversión inmobiliaria comprobando sus ventajas frente a los métodos tradicionales. En este capítulo se aplicarán las opciones reales a un proyecto inmobiliario y se calculará el valor que añaden al mismo al valorar la capacidad de los gestores para tomar decisiones durante el desarrollo del proyecto, demostrándose así su utilidad para el análisis de proyectos inmobiliarios.

La adaptación de las opciones reales a los proyectos inmobiliarios exige conocer a fondo las particularidades que los caracterizan ya que, por ejemplo, la expansión de un proyecto inmobiliario es muy diferente de la expansión de uno farmacéutico. En este capítulo se consigue el objetivo general de mostrar los riesgos a los que se enfrenta un proyecto inmobiliario desde su comienzo hasta su finalización y los factores que influyen en su cuenta de resultados así como en su diseño.

Se parte de un caso real escogido porque aparecen opciones reales de todos los tipos estudiados, lo cual no siempre ocurre en la práctica, aunque sí es normal que aparezcan varias de ellas simultáneamente. También se trata de explicar con un ejemplo todo lo expuesto en el capítulo 4, y más concretamente en lo relativo a ingresos, costes y riesgos durante el desarrollo.

Para el análisis se ha utilizado hoja de cálculo, para calcular la cuenta de explotación, por ser la herramienta más adecuada para este tipo de cálculos. En la cuenta de explotación se han introducido distribuciones estadísticas para varios factores lo cual no suele



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

hacerse, aunque debería ser una práctica habitual. Se ha tratado de que la cuenta de explotación sea lo más sencilla posible para poder apreciar mejor el comportamiento de todos los factores que intervienen en el resultado del proyecto y en el valor de las opciones reales. Para el cálculo de las opciones reales se han utilizado los scripts de R desarrollados en el capítulo 5.

### 6.1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

En esta sección se va a mostrar cómo realizar un análisis de un proyecto inmobiliario independientemente de si se van a estudiar las opciones reales o de que se haga un análisis tradicional. No se trata de un manual de uso para cualquier situación ya que debe ser adaptado en función de las peculiaridades de cada caso, pero se ha procurado que sea amplio en sus consideraciones.

#### 6.1.1. Análisis urbanístico y arquitectónico

Los terrenos que se están analizando se encuentran en el municipio de Santo Domingo de la Calzada, en La Rioja en el que el instrumento aprobado es un Plan General de Ordenación Urbana. Dicho Plan General puede consultarse en la aplicación de consulta de urbanismo Sistema de Información Urbanística SIU de la página web del Gobierno de la Rioja ([Gobierno de la Rioja, 1999](#)). Cada Plan General tiene particularidades diferentes a la hora de presentar los planos, y en el del municipio analizado se presenta en uno solo de ordenación toda la información necesaria, lo cual no suele ser habitual. Dicho plano se presenta en la figura 6.1.

Dichos terrenos se encuentran incluidos dentro de un sector, el sector 11 del suelo urbanizable delimitado. Esta información es muy importante en cuanto a plazos y trámites necesarios según lo expuesto en la sección 4.4.1, a la que se remite al lector para la explicación de los diferentes tipos de suelo y su forma de ser tratados. Por lo tanto, ya se pueden descartar varias posibilidades, como que se trate de suelo no urbanizable, o que se trate de un sector de suelo urbanizable no delimitado. Por ello, será necesaria la redacción de un Plan Parcial que dividirá el Sector en una o varias unidades de ejecución, en las que será necesaria a su vez la tramitación de un proyecto de reparcelación. Dicho Plan Parcial fue redactado por el autor de esta Tesis junto a su equipo y es de consulta libre en la aplicación web del Gobierno de la Rioja mencionada anteriormente ([Romero et al., 2004a](#)).

También se puede extraer del plano que el sector se encuentra rodeado tanto por suelo urbanizable no delimitado al Norte, como por unidades de ejecución al Sur y al Este, como por suelo urbanizable delimitado al Oeste del Sector 7. Aquí se detecta que existen problemas para el desarrollo del Sector 11 porque resulta muy difícil acceder a él si no están urbanizados previamente el Sector 7 o las Unidades de Ejecución NE6 y NE8. Esta situación lamentablemente se ha producido en numerosas ocasiones en España, con sectores desarrollados y urbanizados a los que solo era posible acceder por uno o dos puntos y que además no guardaban los anchos necesarios para un buen funcionamiento

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

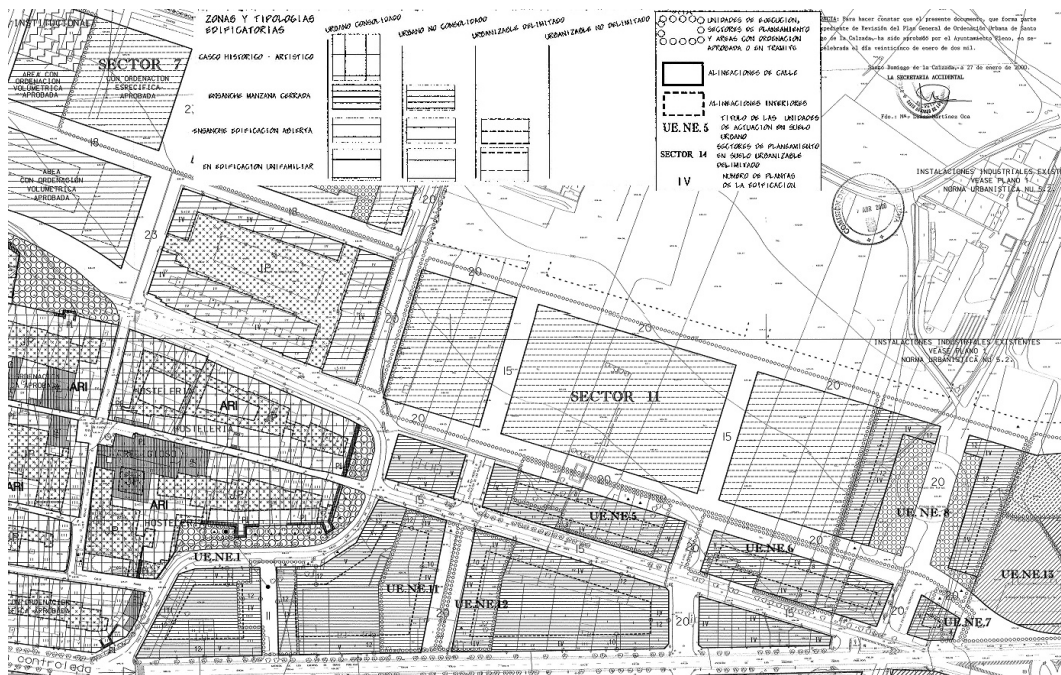


Figura 6.1.: Plano de ordenación del Plan General de Ordenación Urbana del municipio (Gobierno de la Rioja, 1999).

del tráfico. Afortunadamente en el caso analizado se encontraba urbanizado previamente el Sector 7, pero no las Unidades de Ejecución, por lo que el acceso al Sector se podía realizar por dos puntos al Oeste, por otro por el Sur, y por otro con escasa anchura también por el Sur.

Siguiendo con el análisis del Sector, y aunque las tramas de la leyenda elegidas no son muy esclarecedoras debido a la antigüedad del Plan General, del año 1999, se observa que la tipología edificatoria es de ensanche de edificación abierta. También se indican las anchuras de las calles propuestas y que se pretende dividir el Sector en tres manzanas.

El siguiente paso es estudiar la memoria del Plan General para encontrar la ficha del Sector 11 en particular y el resto de normativa u ordenanzas que le pueden aplicar. En la tabla 6.1 se aporta un extracto de la ficha.

Como se puede comprobar en la tabla 6.1 aparecen dos columnas, la del Plan General y la del Plan Parcial. De momento se analizará solo la del Plan General. Se indican dos superficies, la neta y la total. Asimismo, también aparecen dos valores de aprovechamiento, la edificabilidad del sector, que es 0,60 y el aprovechamiento medio del suelo urbanizable, 0,4218. Esto se debe a que en este municipio se sigue el criterio de adjudicar a cada sector el aprovechamiento medio del suelo urbanizable delimitado, lo cual es bastante común sobre todo en municipios grandes para evitar injusticias a la hora de la asignación de aprovechamientos a los sectores, o de crear sectores de servicios como hospitalarios, universitarios, etcétera.

La superficie física que se encuentra dentro de los límites marcados en el plano 6.1

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

	Ficha Plan General	Ficha Plan Parcial
Superficie Total	49.538 m <sup>2</sup>	50.368 m <sup>2</sup>
Superficie Neta	34.827 m <sup>2</sup>	35.657 m <sup>2</sup>
Sistema General Equivalente	14.711 m <sup>2</sup>	14.711 m <sup>2</sup>
Superficie Construible	20.896 m <sup>2t</sup>	21.245 m <sup>2t</sup>
Uso	Residencial Edificación Abierta	Residencial Edificación Abierta
Aprovechamiento Medio Suelo Urbanizable	0,4218	0,4218
Edificabilidad del Sector	0,60	*
Exceso de Aprovechamiento	6.205 m <sup>2t</sup>	6.205 m <sup>2t</sup>

Tabla 6.1.: Ficha urbanística del Sector 11 en el Plan General (Romero *et al.*, 2004a).

es la superficie neta, 34.827 m<sup>2</sup>, que si se multiplica por la edificabilidad del Sector, 0,60, da un valor de 20.896 m<sup>2t</sup>. Pero como el aprovechamiento medio es 0,4218 y este sector tiene exceso de aprovechamiento, la superficie a la que habría correspondido esa edificabilidad se obtiene de dividir la edificabilidad entre el aprovechamiento  $20.896 / 0,4218 = 49.540$  m<sup>2</sup> (la diferencia respecto a la tabla se debe a los ajustes por decimales). La diferencia entre la superficie total y la neta, 14.711 m<sup>2</sup>, son los metros cuadrados de otros propietarios de suelo que estando dentro del mismo municipio se encuentran en sectores dedicados a sectores generales, en este caso dentro del Sector 9, y que a todos los efectos computan como propietarios dentro de este Sector. Esto es muy importante, ya que tanto a la hora de saber si se posee el 50 % de la propiedad, o para los pagos de urbanización o como para el reparto del aprovechamiento, se debe tener en cuenta la superficie total y no la neta. El exceso de aprovechamiento por lo tanto, proviene del aprovechamiento otorgado a la diferencia de metros cuadrados entre ambas superficies, multiplicado por el aprovechamiento medio.

La tercera columna de la tabla 6.1 es la del Plan Parcial. Tras el análisis sobre el levantamiento topográfico y el terreno se observa un hecho bastante normal y es que los límites del Sector deben ser ajustados para adaptarse perfectamente a la realidad del terreno, lo cual en este caso hizo que fuera necesario aumentar la superficie física del Sector. Para saber el incremento de aprovechamiento que este incremento de superficie provoca, se debe multiplicar por 0,4218, ya que si se hiciera por 0,60 como hasta el momento se hacía a la superficie neta, se estaría otorgando a esos propietarios mayor aprovechamiento que el medio del municipio. Por lo tanto, los datos de aprovechamiento



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

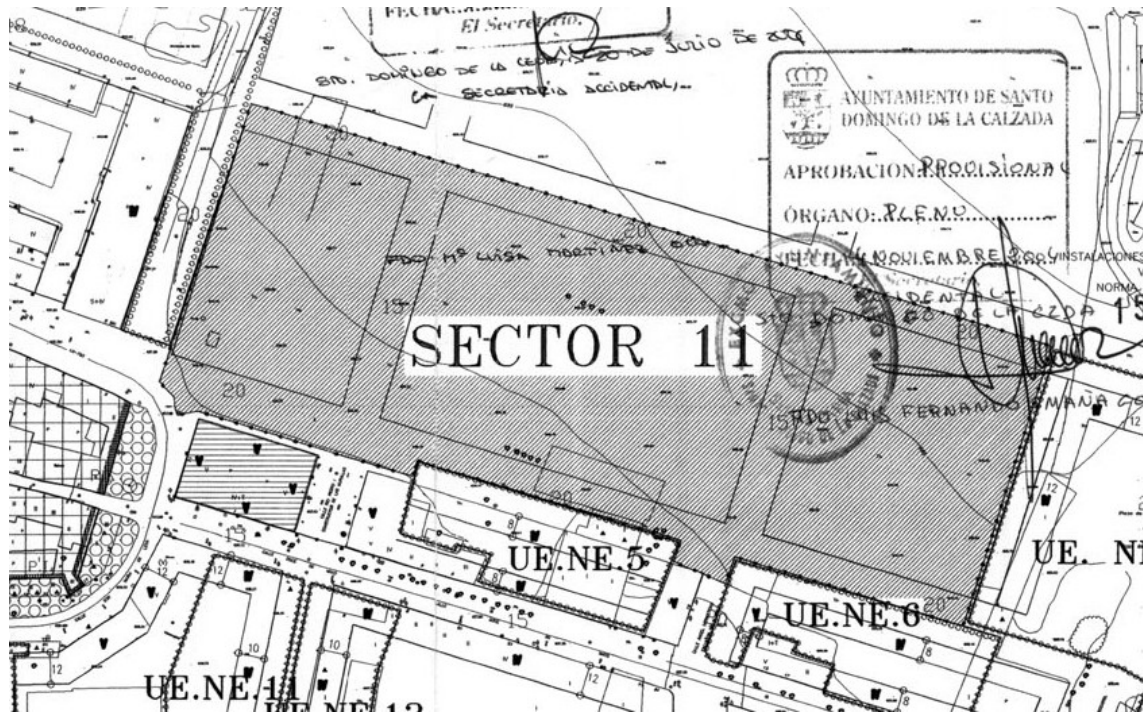


Figura 6.2.: Límites del Sector 11 en el Plan Parcial (Romero *et al.*, 2004a).

definitivos de superficie son los que aparecen en la tercera columna.

Todo lo expuesto hasta ahora no sería necesario en el caso de que los terrenos estuvieran incluidos en una unidad de ejecución de suelo urbano no consolidado ya que a los incrementos de superficie se les aplicaría directamente el coeficiente de aprovechamiento de la unidad en cuestión y no la media del municipio.

En la figura 6.2 se observa cuáles serán los límites definitivos del sector.

El número máximo de viviendas será 214, que se obtiene de multiplicar la densidad máxima de viviendas por hectárea en la zona de edificación abierta, 60, por la superficie neta del sector.

Por otra parte, siempre que se estudie un nuevo desarrollo urbanístico se debe comprobar cuántas son las cesiones que deben hacerse al Ayuntamiento, lo cual en general viene indicado en la Ley del Suelo de la Comunidad Autónoma correspondiente, con porcentajes muy diferentes. Es fácil encontrar leyes que exijan el 15% de cesión, como la ley de las Islas Baleares, o el 10% como la ley de La Rioja, la cual afecta al Plan Parcial analizado en esta Tesis. Además en ocasiones, como en la ley de La Rioja, este porcentaje puede variar en función de la población del municipio en cuestión. Se debe tener en cuenta que para la redacción del Plan Parcial fue seguida la Ley 10/1998, de 2 de julio, de Ordenación del Territorio y Urbanismo de La Rioja, que actualmente ya está derogada por la publicación de la Ley 5/2006, de 2 de mayo, de Ordenación del Territorio y Urbanismo de La Rioja. El artículo que regula las cesiones es el 24.2.c. En este caso, la cesión del 10% supone una cesión de  $2.124,5 \text{ m}^2$  libres de cargas de cualquier

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

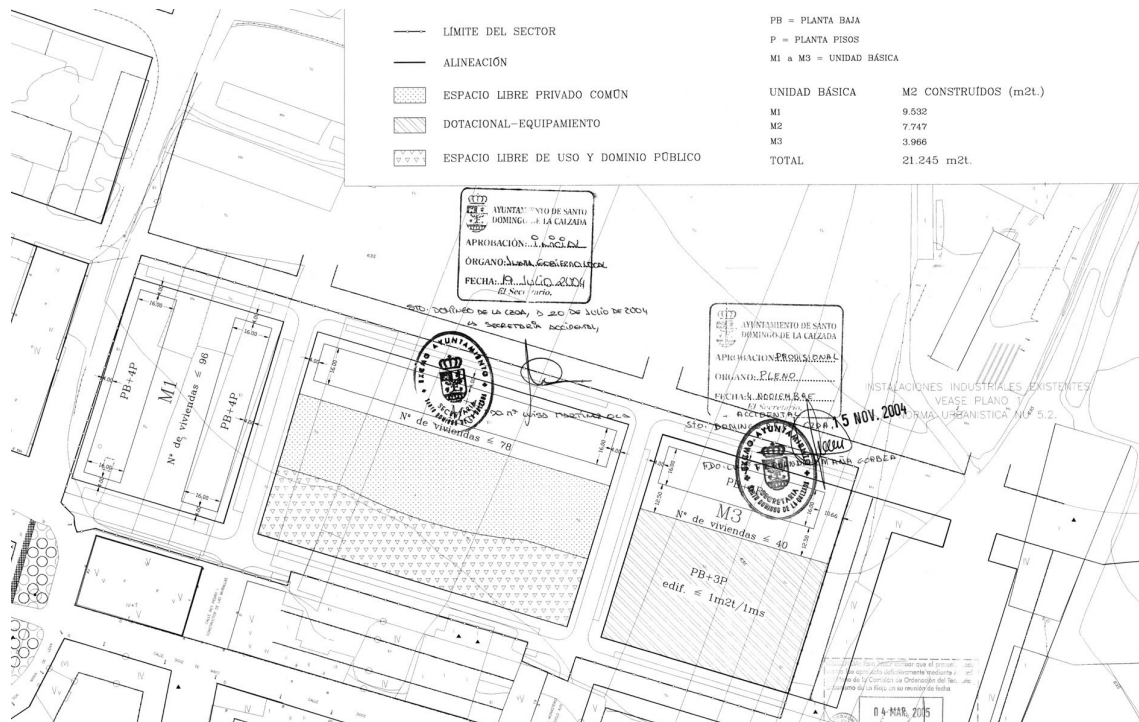


Figura 6.3.: Manzanas del Sector 11 en el Plan Parcial (Romero *et al.*, 2004a).

tipo, y en concreto de urbanización, que deberán ser cedidos al Ayuntamiento.

También se debe ceder el 15% de la superficie ordenada para espacios libres y equipamientos (5.348,55 m<sup>2</sup>) siendo al menos un 10% para zonas verdes (3.565,70 m<sup>2</sup>). En el Plan Parcial analizado las cesiones han sido superiores a las exigidas por la normativa, un total de 8.562,68 m<sup>2</sup>, con 3.852,55 m<sup>2</sup> de zonas verdes y 4.710,13 m<sup>2</sup> de dotaciones.

Como se puede comprobar en el plano de la figura 6.3 la edificabilidad del Sector se ha dividido entre tres manzanas, en las que se ha marcado el número de viviendas máximo, y se han creado también las parcelas para las cesiones. Es por lo tanto el Plan Parcial el que ha marcado las alineaciones, y la configuración general del Sector, lo cual ya no podrá ser modificado en adelante, salvo modificación puntual del Plan General. Esta edificabilidad será repartida posteriormente en el Proyecto de Compensación.

Por último, es el Plan Parcial el que marca en cuántas unidades de ejecución se dividirá el Sector, siendo en este caso solo una y cuál será el sistema de gestión, que será el de Compensación.

El Proyecto de Compensación será el que determine cuáles serán las parcelas resultantes en función de las parcelas aportadas de cada uno de los propietarios. Como se ha comentado en el Plan Parcial además de los propietarios físicos que están dentro de la Superficie Neta del Sector, se debe incluir a los que provienen del Sector 9 dotacional, ya que el Sector 11 es excedentario de aprovechamiento sobre el aprovechamiento medio de los sectores de suelo urbanizable del municipio. El Proyecto de Compensación no es descargable desde Internet, aunque puede ser consultado en las dependencias del Ayun-

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

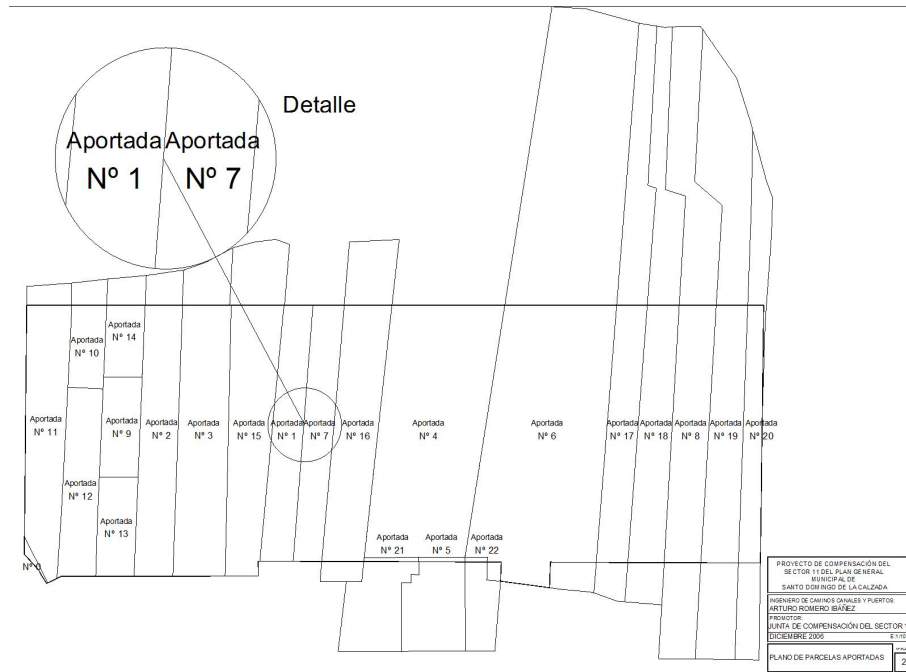


Figura 6.4.: Parcelas aportadas al Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero *et al.*, 2004b).

tamiento de Santo Domingo de la Calzada. Fue redactado por el redactor de esta Tesis y su equipo, por encargo de la Junta de Compensación del Sector 11 que se creó para tal efecto (Romero *et al.*, 2004b) tras la aprobación de las Bases y Estatutos correspondientes.

En el Proyecto de Compensación en primer lugar se debe indicar cuáles son las parcelas aportadas a la reparcelación así como sus propietarios. En la figura 6.4 se observan las parcelas físicas que estaban incluidas en la superficie neta, a las que hay que sumar las parcelas provenientes del sector 9 dotacional deficitario.

Pero se observan también que muchas de las parcelas ocupan mayor superficie que la incluida en el Sector, debido a que como es lógico la configuración del Sector no se adapta a los límites de las fincas agrícolas previas. Se observa eso sí, que algunas de ellas sí lo hacen, y esto es debido a que el propietario que las compró en el pasado solo compró la parte de la finca incluida dentro del Sector. Por todo esto, es debido hacer una segregación de parcelas que divide la finca en varias parcelas, de manera que una de ellas quede íntegramente dentro del Sector y sin superficie externa. Una vez hecha esta operación, el Proyecto de Compensación incluye dentro de una tabla todas las fincas con su propietario, superficie y otros datos. En la tabla 6.2 se aporta un extracto de dicha tabla, ciñéndose a las propiedades de uno de los propietarios. Para el cálculo de los porcentajes de propiedad se debe descontar la superficie de caminos públicos ya que se entiende que son compensados con la superficie de calles que se crea.

Una vez que se conoce el propietario de cada una de las fincas, el siguiente paso

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Parcela registral	Parcela Pr. Comp.	Titular registral	Inclusión en el Sector	Superficie aportada	% total superf. Sector
19991	1	Propietario 1	Total	1.471,55	2,924
8322	2		Parcial	1.903,49	3,782
7085	3		Parcial	2.519,38	5,006
20399	4		Total	4.966,00	9,867
11271	5		Parcial	39,24	0,078
17270	6		Parcial	5.958,62	11,839
20264	7		Total	1.419,03	2,819
3606	8		Parcial	1.748,38	3,474
20231	31	Propietario 1	Total S9	5.559,00	11,044

Tabla 6.2.: Extracto de la tabla de parcelas aportadas del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero *et al.*, 2004b)

Propietario	Superficie aportada	% superficie total sector	Aprovechamiento inicial m <sup>2t</sup>	Aprovechamiento -cesión 10 % m <sup>2t</sup>
1	25.584,69	51,114	10.859,17	9.773,27
Total	50.052,84	100,00	21.245,00	19.120,5

Tabla 6.3.: Extracto de la tabla de propietarios con aprovechamiento correspondiente del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero *et al.*, 2004b).

es agrupar las propiedades de cada uno de los propietarios, indicando su superficie y aprovechamiento que le corresponde, así como su porcentaje de propiedad en el Sector. Ya en esta tabla se ofrece el aprovechamiento reducido en un 10 % debido a la cesión que debe hacerse al Ayuntamiento. Se avisa al lector que la diferencia entre el total de la superficie del Sector que aparece en esta tabla y la expuesta hasta ahora, corresponde por la disminución de los propietarios cuya superficie aportada no alcanza el 15 % de la parcela mínima y su aprovechamiento ha tenido que ser adquirido e indemnizado por la Junta de Compensación y repartido entre el resto de los propietarios, 278,13 m<sup>2</sup>, y por la superficie de caminos 37,03 m<sup>2</sup>.

A continuación se realiza el reparto del aprovechamiento de cada uno de los propietarios entre las parcelas resultantes. El reparto se hace tratando de seguir varios criterios, como que haya la mayor cercanía posible entre la parcela aportada y la resultante, agrupación de las propiedades de un propietario, etcétera. Para completar parcelas resultantes evitando la creación de parcelas resultantes muy pequeñas, será necesaria la creación de proindivisos, que se dan cuando dentro de una misma parcela apare-



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

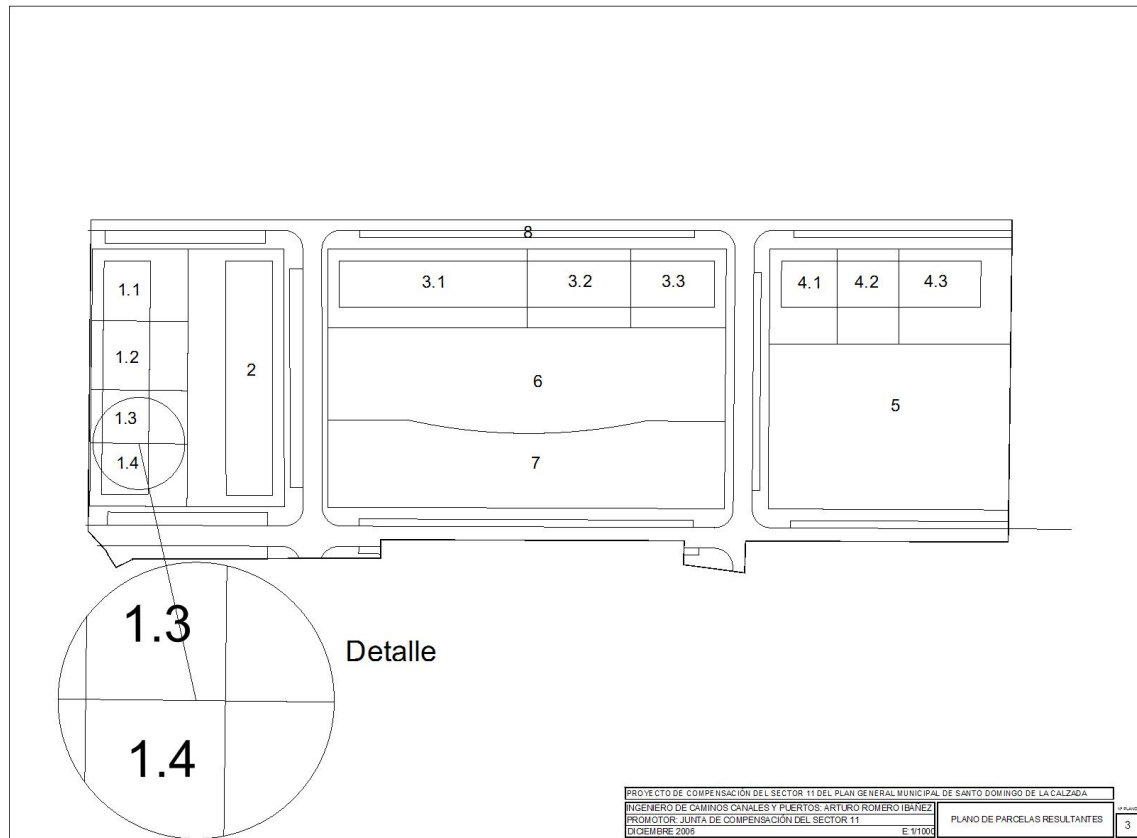


Figura 6.5.: Parcelas resultantes del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero *et al.*, 2004b).

cen varios propietarios. Es el caso del propietario 1, al cual se le aportan dos parcelas completas y se ha utilizado su aprovechamiento para completar el resto de las parcelas. Esto podría no haberse hecho así, pero fue la voluntad de los propietarios no crear parcelas con dimensiones dadas solo por los aprovechamientos de los propietarios, sino que se optó por crear parcelas resultantes que permitan la construcción de un edificio con distribuciones buenas y adaptadas a la demanda. Las parcelas resultantes que se obtienen se observan en la figura 6.5.

Siguiendo por lo tanto con las parcelas resultantes y su adjudicación, se ofrece un extracto de las correspondientes al propietario 1 en la tabla 6.4 y la de cesiones del Ayuntamiento. Se comprueba que el propietario 1 posee dos parcelas completas, la 2 y la 3.1, y un gran porcentaje de la 1.4, siendo residual su participación en las otras. Esta situación extraña en la que parece que el propietario 1 podría haber agrupado su propiedad en la parcela 1.4, se hizo de esta forma ya que realmente el propietario 1 sí que poseía completamente la parcela 1.4 por medio de otra sociedad.

Entre las parcelas especiales que aparecen en las parcelas resultantes, ya se ha comentado la parcela 3.2 que corresponde al aprovechamiento de cesión para el Ayuntamiento.



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Propietario	Superficie aportada	Aprovecham. 10% cesión	Parcela adjudicada	Aprovech. por parcela	% propiedad proindiviso
10% Cesión Ayunt.		2.124,50	3.2	2.124,50	100
			1.1	75,13	5,83162
			1.2	75,00	5,5645
			1.3	75,00	6,82
1	25.584,69	9.773,27	1.4	760,18	73,71
			2	4.766,00	100,00
			3.1	3.878,94	100,00
			3.3	75,00	4,317
			4.2	35,06	2,766
			4.3	34,96	2,152

Tabla 6.4.: Extracto de la tabla de parcelas resultantes del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero *et al.*, 2004b)

Pero también hay otras, como la parcela 5 que corresponde con una parcela dotacional polivalente, también de cesión para el Ayuntamiento y que permite la construcción de colegios, centros de día, etcétera. La parcela 6 es una parcela de espacio libre y uso privado comunitario para todos los propietarios de las futuras viviendas de forma que se pueda construir una piscina, zonas deportivas, etcétera, sin que sea necesario una por cada una de las parcelas. La parcela 7 es una parcela de espacio libre de dominio y uso público destinada a parque para el municipio y por lo tanto de cesión al Ayuntamiento. Por último, la parcela 8 es la destinada a viales.

El siguiente paso consiste en repartir los gastos previstos según la cuota de participación de los propietarios. En primer lugar se deben valorar las indemnizaciones por derribos, plantaciones, etcétera. No es el objetivo de esta Tesis indicar cómo se calculan, pero para el lector que desee profundizar, el sistema viene recogido en el Real Decreto 1020/1993 de 25 de junio de 1993 del Ministerio de Economía y Hacienda y sus actualizaciones. Cada propietario recibirá el importe de sus valoraciones, o reducirá la cuantía que deba pagar por otros conceptos. Las indemnizaciones ascienden a 39.574,94 euros.

Los otros conceptos son, por ejemplo, el coste de las obras de urbanización, que se ha estimado en 1.458.033,62 euros, los gastos de avales de la urbanización 3.993,89 euros, o los honorarios del levantamiento topográfico, el Plan Parcial, el Proyecto de Urbanización, Gestión de la Junta, etcétera que se han estimado en 182.962,48 euros.

En el proyecto de compensación aparecen varias tablas para el reparto de estos costes, como por parcelas aportadas, agrupadas por propietario, o por parcela resultante. Para el contenido de esta Tesis, interesan los costes de la parcela 2. Por ajustes muy particulares

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Propietario / Parcela	Aprovecham.	Cuota de participación	Urbanización	Honorarios	Otros gastos
Prop. 1	9.773,27	51,114	745.259,31	93.519,44	22.086,84
Parc. 2	4.766,00	24,926	363.429,46	45.605,22	10.770,76

Tabla 6.5.: Extracto de la tabla de costes por parcela del Proyecto de Compensación del sector 11 (Romero *et al.*, 2004b).

de este Sector en particular algunos de estos costes no se mencionan aquí. En la tabla 6.5 se ofrecen los gastos que deberá abonar el propietario 1, y los de la parcela 2 en particular, ya que serán utilizados en esta Tesis.

El siguiente paso en el estudio del terreno corresponde con el análisis del aprovechamiento que puede obtenerse de la parcela, para lo cual es muy recomendable recurrir a los servicios de un arquitecto. En esta Tesis se va a hacer por medio de ratios, que para una primera aproximación, o para terrenos de geometría sencilla, puede ser suficiente. Es el caso de la parcela 2, que es rectangular, con topografía llana, fondo edificable adecuado para dos o cuatro viviendas por planta y portal, y buena orientación Este - Oeste. El número máximo de viviendas según el reparto del proyecto de compensación es de 48. En la figura 6.6 se aporta un plano con las dimensiones de la parcela.

La superficie de la parcela es de 2.932,41 m<sup>2</sup> de suelo. El aprovechamiento adjudicado a la parcela es de 4.766,00 unidades de aprovechamiento o metros cuadrados de techo, ya que en este Plan General no se hace distinción entre ellos, o dicho de otra manera, el coeficiente de homogeneización es 1. Es común encontrar Planes Generales en los que se aplican diferentes coeficientes de homogeneización, por ejemplo, con valores mayores que la unidad para penalizar los unifamiliares o menores que la unidad para favorecer diferentes usos, como la vivienda de protección oficial. También en algunos casos se le asigna un coeficiente a la zona libre privada de modo que consume aprovechamiento.

No es el caso de este Plan General, es más, leyéndolo con detalle se encuentra un artículo en las normas urbanísticas, el 3.3.10. Volumen máximo y densidad de viviendas, que indica que no computarán los vuelos que no sobrepasen el 10 % de la superficie máxima edificable autorizada al edificio. Por esta razón, el aprovechamiento que se puede materializar en la parcela, ya que se puede volar más de un 10 % por su geometría, es de  $4.766,00 \times 1,10 = 5.242,60 \text{ m}^{2t}$ . Es este un buen ejemplo de cómo una normativa debe leerse en profundidad y en su totalidad, y no solo por encima, como se acostumbra, por el gran beneficio o perjuicio que puede acarrear.

A la hora de concebir un edificio en el que las alineaciones son libres dentro de un área de movimiento, un arquitecto tiene una gran libertad y las soluciones pueden ser casi infinitas. Un punto de partida en este caso podría ser partir de la edificabilidad sin vuelos, 4.766,00 y repartirla entre las 5 plantas del edificio, y el sobrante que es de vuelos, destinarlo a las plantas elevadas. Por lo tanto, para la planta baja se tendrían,  $4.766,00/5 = 953,2 \text{ m}^{2t}$  y en las plantas elevadas  $953,2 + (5.242,6 - 4.766,00) / 4 = 1.072,35 \text{ m}^{2t}$ .

Estos metros cuadrados son de superficie construida, contando también tabiques y

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

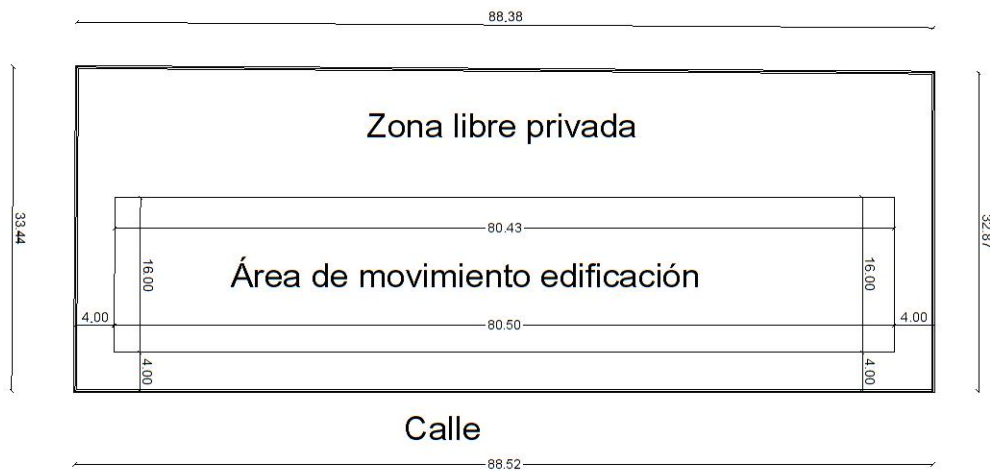


Figura 6.6.: Parcela resultante número 2 del Proyecto de Compensación del Sector 11 (Romero *et al.*, 2004b).

zonas comunes como escaleras y ascensores, por lo que para pasarlos a superficie útil aproximada, se puede multiplicar por 0,75 o 0,78, dependiendo del número de portales y viviendas por portal que se proyecten. La configuración de la parcela no obliga a tener que hacer dos viviendas por planta, lo cual suele venir obligado cuando las viviendas no pueden dar solo a un lado del edificio, como patios de manzana, pero en este caso sí es posible, por lo que para ahorrar costes se elige la opción de más de dos viviendas por portal. Multiplicando por 0,78, se tendría para la planta baja 743,50 m<sup>2</sup>, y para las plantas elevadas 836,43 m<sup>2</sup>, de superficie útil.

La siguiente decisión es el tamaño de las viviendas, lo cual, sin duda alguna viene determinado por la demanda. Es usual hacer una mezcla de tamaños para abarcar un mayor segmento de la demanda. Las posibilidades son infinitas una vez más, porque además dentro de las de el mismo número de dormitorios, los tamaños también pueden variar. En la tabla 6.6 se aportan varias de estas posibilidades que podrán ser utilizadas más adelante para el análisis de opciones reales. Las limitaciones son las superficies indicadas y el número máximo de viviendas de 48.

A continuación se explican las características de las opciones de la tabla 6.6:

1. Todas las viviendas son de igual tamaño, 3 dormitorios y superficie derivada de disponer 10 unidades en cada una de las plantas superiores, y la superficie sobrante en planta baja se destina a local comercial. Esta opción, como se verá en la segunda, no es realista, pero es buena como primera aproximación. Habrá 2

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Opción	Plantas elevadas (x4)			Planta baja (x1)				
	4 dorm.	3 dorm.	2 dorm.	4 dorm.	3 dorm.	2 dorm.	Local	Garaje
1	(0)	(10) 83,64	(0)	(0)	(8) 83,64	(0)	(1) 74,35	(0)
2	(0)	(10) 83,64	(0)	(0)	(6) 83,64	(2) 69,50	(1) 74,35	(0)
3	(0)	(0)	(12) 69,70	(0)	(0)	(0)	(1) 743,50	(0)
4	(0)	(0)	(12) 69,70	(0)	(0)	(0)	(0)	(32)
5	(2) 97,00	(8) 80,30	(0)	(2) 97,00	(4) 80,30	(2) 66,50	(1) 74,35	(0)
6	(2) 102,00	(6) 83,64	(2) 65,28	(2) 102,00	(2) 83,64	(4) 65,28	(1) 74,35	(0)
7	(2) 97,00	(2) 83,64	(7) 67,87	(2) 97,00	(0)	(7) 67,87	(1) 74,35	(0)
8	(2) 97,00	(2) 83,64	(7) 67,87	(0)	(0)	(0)	(0)	(32)

Tabla 6.6.: Posibilidades de combinaciones de número de viviendas y superficies útiles para la Parcela 2 (Elaboración propia).

núcleos de escalera con 5 viviendas por portal, siendo esta característica común para todas las opciones.

2. Todas las viviendas de plantas elevadas son de 3 dormitorios como en la opción 1, pero en planta baja se tiene en cuenta que 2 de ellas tendrán que perder 1 dormitorio para poder acceder a través del portal, lo cual no se había hecho en la anterior. Por esta razón, el exceso de metros cuadrados no se le da al local comercial.
3. Se supone que todas las viviendas estarán en las plantas elevadas, lo cual hace que sean 12, siendo 6 por núcleo de escaleras, y por el tamaño deberán de ser de 2 dormitorios. En planta baja por lo tanto solo sería necesario descontar la superficie de los portales, que suele ser aproximadamente 35 m<sup>2</sup>, pero como se recordará, ya se había multiplicado la superficie de planta baja por el coeficiente que tiene en cuenta la superficie de zonas comunes, por lo que no es necesario restar dicha superficie.
4. Es como la opción 3 pero la planta baja se destina para garaje. Al dividir la superficie útil entre 23 m<sup>2</sup> que es un valor que contempla la superficie de la plaza, unos 13 m<sup>2</sup> más la superficie de rampas y pasillos de circulación y que es un valor relativamente bajo, pero que tiene en cuenta la favorable geometría de la parcela, se obtiene el número de plazas, 32, que se pueden ubicar en planta baja. El resto estarían en superficie, lo cual se deberá tener en cuenta para su precio, que será más bajo.
5. Es como la opción 2 pero se añaden 2 viviendas de cuatro dormitorios por planta, 1 por portal, sucediendo lo mismo en planta baja que en la 2.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

6. Es como la opción 5 pero se convierten 2 de 3 dormitorios en 2 de 2 dormitorios y el exceso de metros cuadrados se reparte entre las de 4 y 3 dormitorios.
7. Se añade 1 vivienda más por planta, en lugar de 10 o 12, como las vistas hasta ahora, aparecen 11, lo cual permite obtener viviendas con metros cuadrados más equilibrados que en las anteriores. La mayor parte son de 2 dormitorios, sobre todo en planta baja.
8. Es como la opción 7, pero no se aprovecha todo el número de viviendas posible, solo se hacen 44 en lugar de 48, pero se hace el garaje en planta baja con los mismos condicionantes que en la 4.

Un detalle importante es que dada la configuración de la parcela es posible introducir en la planta baja jardines que pueden ser utilizados de forma exclusiva por las viviendas de planta baja, o también jardines comunitarios con piscina e incluso compartir las dos opciones con terrazas para las viviendas más pequeñas. Pero en el proyecto de compensación se ha reservado una parcela para uso privado comunitario con piscina y pistas deportivas a compartir por todas las parcelas resultantes, por lo que en este caso el espacio libre privado de la parcela se destinará para las viviendas de planta baja, dándoles un gran atractivo y valor comercial. También se destinará en la zona de local comercial a espacio privado pero que podría ser utilizado como terraza en caso de un establecimiento hostelero.

Como opción elegida de partida se tomará la opción 6. Las calidades de las viviendas serán medias. La razón de esta elección se debe a que el mercado inmobiliario en el año de redacción de esta Tesis, con un incipiente y frágil despegue, está formado por compradores que tienen un nivel adquisitivo medio - alto, ya que los de más bajo nivel se centran en el alquiler o en compra de viviendas de segunda mano. No obstante, tampoco se puede tomar la decisión de utilizar calidades altas o ni siquiera medias altas, porque por las características de la localidad, en la que parte de las viviendas son adquiridas para segunda residencia, unas calidades altas podrían retraer la compra.

### 6.1.2. Cuenta de explotación

En este apartado se ha hecho una hoja de cálculo que calcula la cuenta de explotación del proyecto inmobiliario de la parcela 2 del proyecto de compensación del Sector 11. La hoja de cálculo se ha hecho en Excel y se ha tratado de que sea sencilla y estándar, es decir, adaptable fácilmente a otros proyectos. Por ello se han tenido en cuenta los parámetros más típicos, no contemplando, por ejemplo, cambios de divisa por estar el proyecto en un país extranjero, permutas o convenios con Ayuntamientos, etcétera.

Pese a la sencillez que se ha mencionado, se ha introducido una complejidad, utilizando en la hoja valores variables que cambian obedeciendo a distribuciones estadísticas utilizando el método de Monte Carlo. Esto no se suele hacer en la práctica, pero no porque no sea conveniente, sino por la dificultad de análisis que añade al gerente. Es decir, lo usual es utilizar valores estáticos para los precios de venta, costes, etcétera, cuando la realidad es que los precios son variables. En ocasiones se aplica una ligera variabilidad

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

cambiando por ejemplo los precios a lo largo del tiempo, pero realmente sigue siendo estático porque es el gerente el que elige los precios. En otras ocasiones también se utiliza el análisis de sensibilidad para introducir de alguna forma la variabilidad que existe en el mercado real y que sirva para medir de alguna forma el riesgo al que está sometido el proyecto. Pero aplicando una distribución estadística con el método de Monte Carlo para introducir los valores, se obtiene una información mucho más valiosa para saber el riesgo de la promoción.

En la tabla 6.7 se aportan datos del suelo sobre el que se hará el proyecto y sobre los precios de partida orientativos del mercado inmobiliario y de los costes de construcción de la zona.

Tras los datos de la promoción, como el nombre comercial y su ubicación, se introducen los datos urbanísticos, los cuales han sido explicados ampliamente en la sección 4.4.1 y que se tendrán en cuenta para el tiempo necesario hasta su desarrollo, como el tipo de suelo, urbano, consolidado o no, urbanizable, delimitado o no, o no urbanizable. En el caso de urbanizable, es importante comprobar el estado de desarrollo del Plan Parcial, y en el caso del Proyecto de Compensación, necesario en todo caso excepto en suelo urbano consolidado, también su estado y si está urbanizado. En el caso analizado en esta Tesis, se trata de un suelo urbanizable delimitado, con Plan Parcial aprobado, así como su Proyecto de Compensación, pero no está urbanizado.

En cuanto a los datos arquitectónicos preliminares es necesaria la superficie de la parcela, el número de alturas, la ocupación máxima, la edificabilidad y el número máximo de viviendas. Con estos cinco datos, se limita prácticamente y se define la mayor parte del resultado de la promoción. Ya es posible hacer varias comprobaciones, por ejemplo, las viviendas si se va al tamaño máximo serán de unos 109 m<sup>2</sup> construidos o unos 83 m<sup>2</sup> útiles, si todas fueran iguales. También se comprueba que la edificabilidad cabe perfectamente en la ocupación, dividiéndola primero entre 1.1 para eliminar el 10 % de vuelos que permite el Plan General y luego entre 5, el número de alturas, obteniendo 953.2 m<sup>2</sup>, que es menor que la máxima de 1.287,52 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, el área libre privada, que se tendrá en cuenta en los costes de urbanización, es la diferencia con la superficie de parcela, 1.979,21 m<sup>2</sup>.

En cuanto a los precios de venta según la superficie útil, como medida de referencia a la que luego se le aplicará la distribución estadística correspondiente, se ha obtenido del correspondiente estudio de mercado de la localidad, aplicando también el correspondiente estudio de predicción como se ha hecho en la sección 4.3. En dicha sección se indican todas las variables que se deben analizar. A modo de ejemplo se puede comentar que, en cuanto al tamaño de la vivienda, se ha preferido hacer un producto variado con viviendas de todos los tamaños con la idea de abarcar mayor rango de demanda de clientes. El precio, al ser por metro cuadrado tiene relación directa con el tamaño. En ocasiones no se hace así, tendiendo a que los mayores sean un poco más baratos en términos de €/m<sup>2</sup>, y los menores al contrario, lo cual es muy sencillo de implementar en la hoja de cálculo, haciendo un listado de precios para cada tipo de viviendas, pero aquí se ha mantenido el mismo precio. Sería el mismo caso que la altura de las viviendas, que se puede dar mayor precio a las más altas o a las que tengan características especiales. En este caso, se ha primado las viviendas de planta baja por el uso de la terraza privada.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Datos promoción				
Nombre promoción	Tesis			
Dirección	Sector 11. Santo Domingo			
Datos urbanísticos y arquitectónicos				
Tipo de suelo	Suelo urbanizable	delimitado		
Plan parcial	Necesario	SÍ Redactado	SÍ Aprobado	
Proyecto Compensación	Necesario	SÍ Redactado	SÍ Aprobado	
Urbanizado	No			
Superficie	2.932,41	m <sup>2</sup>		
Ocupación máxima	1.287,52	m <sup>2</sup>	44 %	
Edificabilidad / Alturas	5.242,60	m <sup>2t</sup>	B+4	
Nº máximo de viviendas	48			
Precios de venta superficie útil				
Viviendas	1.600,00	€/m <sup>2</sup>		
Viviendas Planta Baja	2.000,00	€/m <sup>2</sup>	1,25	
Comercial	2.240,00	€/m <sup>2</sup>	1,4	
Oficinas	1.680,00	€/m <sup>2</sup>	1,05	
Garaje	1.280,00	€/m <sup>2</sup>	0,8	
Trasteros	800,00	€/m <sup>2</sup>	0,5	
Terreno				
Precio del suelo	560.000,00	€		
Costes pend. Proy. Comp.	SI			
Urbanización P.C.	363.429,46	€		
Honorarios P.C.	45.605,22	€		
Otros gastos P.C.	10.770,76	€		
Costes construcción superficie construida				
Viviendas	780,00	€/m <sup>2</sup>		
Comercial	546,00	€/m <sup>2</sup>	0,7	
Oficinas	819,00	€/m <sup>2</sup>	1,05	
Sótanos	522,60	€/m <sup>2</sup>	0,67	
Bajocubierta	452,40	€/m <sup>2</sup>	0,58	
Urbanización interior	93,60	€/m <sup>2</sup>	0,12	

Tabla 6.7.: Cuenta de resultados. Datos del proyecto (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Si se quisiera hacer distinción para cada planta se seguiría el mismo sistema. No se ha hecho distinción por orientación ya que no existen planos actualmente pero sí que sería interesante más adelante poner mayor precio a las que tengan orientación este o estén en el extremo sur.

La ubicación de la promoción es buena, lo cual hace que el precio pueda ser ligeramente superior a la media de la localidad. En cuanto a la distribución interior se procurará que tengan terrazas que permitan comer en ellas, ya que la promoción en parte está orientada para segunda residencia.

En lo que respecta a servicios comunes dentro de la comunidad se ha seguido el criterio de ser austeros y ahorrar, ya que como se ha indicado existe una parcela dentro del proyecto de compensación de uso privado común en la que se situará la piscina y pistas deportivas para todas las parcelas. Además, el hecho de que parte de los propietarios la adquieran como segunda residencia hace que la instalación de otro tipo de servicios que requieran mantenimiento no sea del agrado de este tipo de clientes.

En cuanto a materiales interiores y exteriores se ha seguido el criterio de que sean de calidades medias, y no se han añadido instalaciones especiales ni domótica, ya que este tipo de cliente no las demanda. Por último, respecto a la calificación energética se ha elegido la calificación C como punto de partida, porque el tipo de cliente que va a vivir en estas viviendas no es del tipo que demanda la A, ya que aunque en la localidad los inviernos son duros y el uso de la calefacción es intensivo, en el verano el uso del aire acondicionado es residual y prácticamente innecesario, siendo suficiente por tanto con la calificación C.

En la columna de la derecha de los precios de venta aparecen unos números que indican la proporción que guarda el precio concreto respecto al precio de la vivienda de plantas elevadas. Esto se hace porque para que tenga sentido la aleatoriedad que se introducirá, no se va a permitir variar libremente los precios de cada unidad, sino que estén relacionados. Es decir, no tendría sentido que baje el precio de la vivienda, mientras suba el de los garajes y baje el de los trasteros, ya que normalmente los precios tienen una relación directa.

En cuanto a los costes, en la sección 4.4 se estudian todos los costes que influyen en la promoción. Por un lado está el precio del suelo, que en este caso se puede analizar desde dos puntos de vista que finalmente confluyen en el mismo. En primer lugar, si el que está estudiando la promoción no es el propietario del suelo sino que lo tiene que comprar, tiene que valorar que el suelo ya ha tenido prácticamente todo el desarrollo urbanístico del suelo, tanto Plan Parcial como Proyecto de Compensación, y solo falta urbanizar, por lo que ha avanzado posiblemente entre 1 y 2 años de tramitación. La ubicación del suelo es muy buena, sobre todo para este tipo de demanda mezclada con primera y segunda residencia, ya que sin estar muy lejos del centro, está también en las afueras. Esto es posible gracias a ser una localidad pequeña. Por otra parte en su valor también influye que actualmente la oferta es grande por la crisis inmobiliaria. El precio que se considera aceptable en el año 2017 para la parcela sería de 11.500 euros por vivienda, que sumado también el local comercial podría establecerse orientativamente en 560.000 euros. Este dato solo se utilizará para saber si la distribución elegida para precios del suelo es coherente con los precios de la localidad.



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

En el caso de los costes de urbanización, es sencillo obtenerlos, ya que se pueden extraer del Proyecto de Compensación, los cuales para esta parcela son, de obras de urbanización 363.429,46 €, de honorarios 45.605,22 euros y de otros gastos 10.770,76 euros, es decir, un total de 419.805,44 euros.

En cuanto a los costes de construcción de las viviendas propiamente dichas ya se ha indicado que las calidades serán medias, pero es conveniente especificar un poco más siguiendo la sección 4.4 para obtener los precios previstos. La estructura será de forjado unidireccional, ya que es suficiente para el tipo de luces entre pilares y no se necesita encarecer la obra en esta cuestión. Por otra parte, dado que el suelo de Santo Domingo de la Calzada en general está formado por gravas con buena resistencia, y teniendo en cuenta que no hay edificios medianeros, la cimentación será superficial con zapatas aisladas, por lo que no se produce un encarecimiento de la obra por este apartado.

En cuanto a instalaciones, como se ha dicho solo se instalará calefacción y no aire acondicionado. La caldera será de gas natural con radiadores. Se instalarán placas solares siguiendo las directrices del Código Técnico de la Edificación. La electrificación por tanto será básica y no habrá domótica.

La fachada será de ladrillo caravista, con ventanas de aluminio con rotura de puente térmico. Las baldosas de los suelos de las cocinas y baños serán de gres y las paredes alicatadas, mientras que los suelos del resto de la vivienda serán de parquet flotante. Se dará la cocina montada con calidades medias en los muebles.

Otros factores que determinan el coste de construcción es el tamaño de las viviendas. En este caso, se puede decir que el tamaño medio es de tres dormitorios o cercano a tres, teniendo en cuenta las que hay de cuatro y de dos, lo cual abarata los costes. A su vez, el hecho de que solo sean dos portales los que darán servicio a todas las viviendas, con cinco viviendas por planta y portal, al permitir el fondo edificable este tipo de distribución hace que los costes se abaraten sustancialmente.

Por último, las zonas comunes no incrementarán los costes, ya que no se construirán piscinas o pistas de pádel, porque como se ha dicho están en otra parcela del proyecto de compensación, pero sí que se deberán ajardinar, por lo que el coste deberá tenerse en cuenta.

Tras todo este análisis, se pueden plantear unos costes de construcción por superficie construida incluyendo zonas comunes y segregados por los diferentes usos que se recogen en la tabla 6.7.

El siguiente paso en la hoja de cálculo de la cuenta de explotación es introducir las unidades de viviendas, locales, garajes, etcétera que hay disponibles para la venta, y que se habían adelantado en la tabla 6.6. Se ofrecen en la tabla 6.8 con superficies útiles y construidas incluyendo parte proporcional de zonas comunes.

Con todos los datos de la promoción ya introducidos en la hoja de cálculo, es el momento de comenzar a calcular los ingresos y los costes que tendrá la promoción. Para prever los precios de venta se puede hacer de dos maneras, siguiendo la técnica expuesta en la sección 4.3.1.3, o como se ha ido comentando a lo largo de esta sección, en lugar de suponer un precio estático para las ventas, asignar una distribución estadística a los precios de venta y hacer de este modo un cálculo mediante la técnica de Monte Carlo. Será el gerente el que elija el método que prefiera para cada proyecto. En este caso se va

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Datos promoción					
Tipo	Ud. Pl. Elev.	Ud. Pl. Baja	Sup. Útil P.E.	Sup. Útil P.B.	Sup. Const.
Viv. 0 dormitorios	0	0	0	0	0
Viv. 1 dormitorios	0	0	0	0	0
Viv. 2 dormitorios	8	4	522,24	261,12	1011,34
Viv. 3 dormitorios	24	2	2.007,36	167,28	2.816,52
Viv. 4 dormitorios	8	2	816	204	1.319,42
Locales comerciales	0	1	0	74,35	95,32
Oficinas	0	0	0	0	0
Plazas de garaje (sót)	40	0	480	0	800
Trasteros (sót)	25	0	160	0	200

Tabla 6.8.: Cuenta de resultados. Unidades para la venta (Elaboración propia).

a escoger el segundo método ya que tiene una ventaja añadida en el cálculo y estimación de la volatilidad para las opciones reales.

Para la búsqueda de cuál es la distribución estadística que mejor se adapta a los datos se ha escrito un script de R ([R Core Team, 2016](#)) que se puede consultar en la sección [B.5](#). El script usa el paquete `fitdistrplus` ([Delignette-Muller y Dutang, 2015](#)) que compara cuál es la distribución estadística que mejor se ajusta a los datos. El paquete es muy potente y permite estudiar varias distribuciones simultáneamente y por diferentes métodos. Entre las distribuciones que compara para su ajuste están la Normal, la Lognormal, Poisson, Exponencial, Gamma, Negativa Binomial, Geométrica, Beta, Uniforme, Weibull y Logística. Además, cargando el paquete `mc2d` ([Pouillot y Delignette-Muller, 2010](#)), `fitdistrplus` también estudia la Triangular y la Beta Generalizada. También es posible definir distribuciones personales introduciendo las ecuaciones pertinentes. El funcionamiento del script y los datos que ofrece a través de `fitdistrplus` se verán a continuación durante el análisis de los datos.

Es importante aclarar que en la sección [5.3.1](#) ya se determinó que la distribución que se utiliza en opciones reales para generar los precios es el modelo Lognormal por lo que puede parecer reiterativo este análisis pero no es así. Por una parte, lo que se trata en esta sección es de calcular la cuenta de explotación con aleatoriedad, con el fin de obtener la volatilidad del proyecto, por lo que en principio podrían utilizarse diferentes distribuciones siempre que estén justificadas y que se ajusten convenientemente, pero por otra parte, además hay otras muchas variables dentro de una cuenta de explotación además del precio de las viviendas.

Como ya se adelantó en la sección [5.3.1](#) para que se ajuste convenientemente a la Normal o a la Lognormal la distribución de precios de la vivienda es necesario tratar los datos y convertirlos en ratio de incrementos, ajustándose en ese caso muy bien. Pero

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

para el análisis que se quiere hacer en esta sección es preferible no tratar los datos, por lo que si aparece otra distribución que se ajuste mejor a los datos sin tratar, se escogerá esa, para dotar de mayor fluidez y sencillez al proceso, aunque se deja al gerente la posibilidad de trabajar con los datos tratados.

Comenzando con el análisis, en primer lugar se debe conocer la distribución que siguen los precios. Los datos han sido obtenidos de la página web del Ministerio de Fomento de España donde se ofrece un Boletín Estadístico, además de otras estadísticas elaboradas por la Subdirección General de Estudios Económicos y Estadísticas, unidad dependiente de la Dirección General de Programación Económica y Presupuestos, encuadrada en la Subsecretaría de Fomento ([Ministerio de Fomento, 2016](#)), ya que además de los datos que ofrecen las series del Banco de España y que se obtienen en parte de esta fuente del Ministerio de Fomento, en estas se ofrece desagregado por Comunidades Autónomas, pudiendo extraer los precios de La Rioja por separado, que es donde se ubica en concreto el proyecto. La serie comienza en el año 2010 y tiene carácter trimestral. El dato de junio de 2015 no fue recogido, pero por conveniencia se utilizará el valor medio entre marzo y septiembre del mismo año. En general cuantos más datos tenga la serie mejor será el análisis, por lo que si el gerente estima que los datos de esta serie no son suficientes, podría utilizar los de la serie de España que es más larga. Pero en este caso se ha considerado que utilizar una serie de 30 datos, que recoge datos desde el 2010, es preferible a utilizar datos de la media de España.

Es más, todavía podría surgir la duda de si utilizar la serie completa o solo los datos más recientes. Por ejemplo, se puede pensar que si el proyecto va a durar tres años, solo serían necesarios datos de los tres últimos años, pero esto no sería correcto, ya que el comportamiento de los precios podría seguir patrones anteriores. En este caso se ha utilizado la serie completa, ya que aunque podría tener influencia de los precios de la burbuja, al comenzar en 2010, ya son varios años después del pinchazo de la misma y permite que aparezcan precios con un rango mayor que los que se han dado en los últimos años y que podrían ser posibles en el caso de reactivación del mercado inmobiliario, como así se prevé según los medios de comunicación y el propio Gobierno de España, aunque habrá que confirmarlo. Se ha hecho un análisis ARIMA siguiendo lo explicado en apartados anteriores y se obtiene que el precio se mantendrá estable e incluso disminuirá todavía más, pero esto en realidad no contradice las proyecciones gubernamentales, ya que el mercado inmobiliario se ha recuperado en lugares como Madrid o en la costa en segunda residencia, mientras que en las capitales de provincia menos industrializadas o en municipios pequeños sigue totalmente parado. En la figura 6.7 se aporta el gráfico con la evolución del precio de la vivienda en la Rioja ([Ministerio de Fomento, 2016](#)).

Comparando con los precios a nivel nacional se comprueba que siguen la misma dinámica, aunque no alcanzaron cotas tan altas como la media de las comunidades autónomas, las cuales también ahora están a niveles inferiores.

Se analizan los datos con el script de R de la sección B.5 con las distribuciones que podrían ajustarse a este tipo de datos. Se han elegido la Normal, Lognormal, Gamma, Uniforme, Logística, Weibull, Triangular y la Beta Generalizada. La Normal se adapta a muchos fenómenos de la naturaleza y de la propia estadística y la Lognormal ya

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

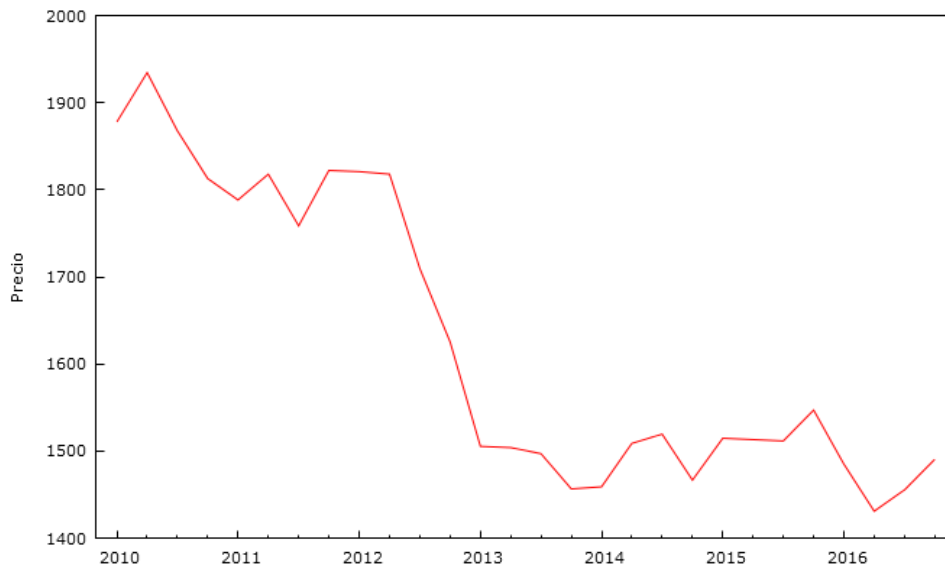


Figura 6.7.: Evolución del precio de la vivienda libre nueva en La Rioja ([Ministerio de Fomento, 2016](#)) y (elaboración Propia).

se ha explicado ampliamente a lo largo de la Tesis. La distribución Gamma también aparece en fenómenos naturales como las lluvias acumuladas y en economía como en las reclamaciones de seguros. La Weibull aparece en el análisis de valores extremos o en hidrología, así como en los seguros para modelar el tamaño de las pérdidas y reclamaciones, mientras que la Logística que al ser similar a la Normal pero con colas más pesadas, aparece en numerosos procesos naturales y también económicos como en la difusión de nuevos productos en marketing. La Uniforme se utiliza comúnmente en procesos de los que solo se conocen dos valores el mínimo y el máximo mientras que la Triangular utilizada cuando solo se conoce el mínimo, el máximo y el valor más probable. Por último, la Beta Generalizada aparece en muchos procesos económicos, como distribución de ingresos, beneficios de acciones, pérdidas de seguros ([Wikipedia, 2017](#)).

Del análisis se obtienen muchos resultados de los cuales se aporta aquí un extracto. Por ejemplo, los criterios de ajuste loglikelihood, que cuanto mayor es su valor mejor es el ajuste, y los de Akaike y Bayesiano que cuanto menor es el valor, mejor es el ajuste. Se aportan los resultados en la tabla [6.9](#).

Dos distribuciones parecen las más apropiadas, la Triangular y la Beta Generalizada y en concreto esta última. El estadístico de Kolmogorov Smirnov para 30 datos y nivel de significación de 0,05 es de 0,24 y las únicas menores son las dos últimas.

Si se hace el análisis con los datos en incrementos, lo cual es muy sencillo incorporando al script de la sección [B.5](#) el código del script de la sección [B.1](#) se observa que hay varias distribuciones que se ajustan a los datos tratados como la Normal, la Lognormal, la Gamma, la Logística o la Weibull, siendo esta última la que más se ajusta, como se

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Distribución	Log-likelihood	Akaike (AIC)	Bayesiano (BIC)	Kolmogorov Smirnov	Cramer Von Misses	Anderson Darling
Normal	-194.9661	393.9322	396.7346	0.2856480	0.4641955	2.5082853
Lognormal	-194.1147	392.2295	395.0319	0.2796653	0.4453004	2.4159710
Gamma	-194.3777	392.7554	395.5578	0.2817513	0.4516089	2.4464276
Uniforme	NA	NA	NA	0.3787445	0.8794258	Inf
Logística	-196.4376	396.8752	399.6776	0.2503659	0.4031354	2.3593459
Weibull	-197.0212	398.0424	400.8448	0.2830014	0.4555840	2.4325053
Triangular	-190.177	386.354	390.5576	0.2071275	0.2546397	1.4887264
Beta Generalizada	-187.2358	382.4716	388.0764	0.1938846	0.2273944	1.3127836

Tabla 6.9.: Ajuste de los precios por máxima verosimilitud (likelihood) a varias distribuciones (Elaboración propia).

comprueba en la tabla 6.10.

Ya se ha explicado en la sección 5.3.1 las ventajas de la distribución Lognormal por lo que se remite a dicha sección para su comprensión. Pero además en este caso como se ha indicado se quieren utilizar los datos sin tratar si es posible. No obstante, sirve para demostrar que puede utilizarse el modelo Lognormal con opciones reales para este proyecto.

Siguiendo con el análisis de los datos originales, para otros casos diferentes del precio de la vivienda con la tabla sería casi suficiente, pero por tratarse la primera vez, se van a aportar algunos de los gráficos que ofrece el script. Para comprobar que esta forma de análisis es correcta, se ofrecen los de todas las distribuciones. Se comparan la función de densidad, la función de distribución, la comparación de cuantiles QQ, y la comparación de probabilidades PP.

Se comprueba que el ajuste de las seis primeras es muy malo, siendo aceptable el de las dos últimas. Estos ocho gráficos se pueden agrupar en cuatro para poder comparar mejor entre ellas.

Será por lo tanto la distribución Beta Generalizada la que se escoja. Los parámetros que el script ofrece, mediante el comando summary son, para el coeficiente de forma 1, 0,6298308, para el de forma 2, 1,0179220, con un máximo de 1.949,06 y un mínimo de 1.416,41. Este tipo de distribución da un poco más de probabilidad a los precios más bajos que a los más altos, pero todos tienen una probabilidad similar. En la hoja de cálculo se obtienen los valores aleatorios con la fórmula `INV.BETA.N(Aleatorio();Forma1;Forma2; Límiteinf;Límitesup)` referenciando a las casillas apropiadas.

Esta serie de precios que se ha estudiado corresponde a la media de toda la Rioja, pero con el correspondiente estudio de mercado, se comprueba que los precios para este tipo de promociones en Santo Domingo de la Calzada, con zona privada y piscina, cercana a

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Distribución	Log-likelihood	Akaike (AIC)	Bayesiano (BIC)	Kolmogorov Smirnov	Cramer Von Misses	Anderson Darling
Normal	63.761	-123.522	-120.719	0.1618598	0.1004985	0.557575
Lognormal	63.57047	-123.140	-120.338	0.1674344	0.1052534	0.582122
Gamma	63.63711	-123.274	-120.471	0.1656205	0.1036530	0.573722
Uniforme	NA	NA	NA	0.2620171	0.4924237	Inf
Logística	62.94305	-121.886	-119.0837	0.14176260	0.0949022	0.571481
Weibull	64.56992	-125.139	-122.337	0.11558118	0.0821486	0.480852
Triangular	-Inf	Inf	Inf	1	10	Inf
Beta Generalizada	-Inf	Inf	Inf	1	10	Inf

Tabla 6.10.: Ajuste de los precios en incrementos por máxima verosimilitud (likelihood) a varias distribuciones. (Elaboración propia)

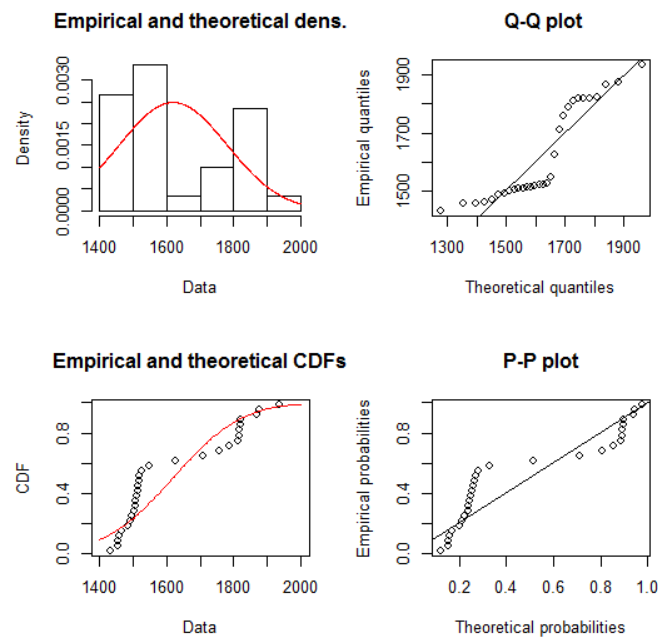


Figura 6.8.: Comparación de precios con distribución Normal teórica (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

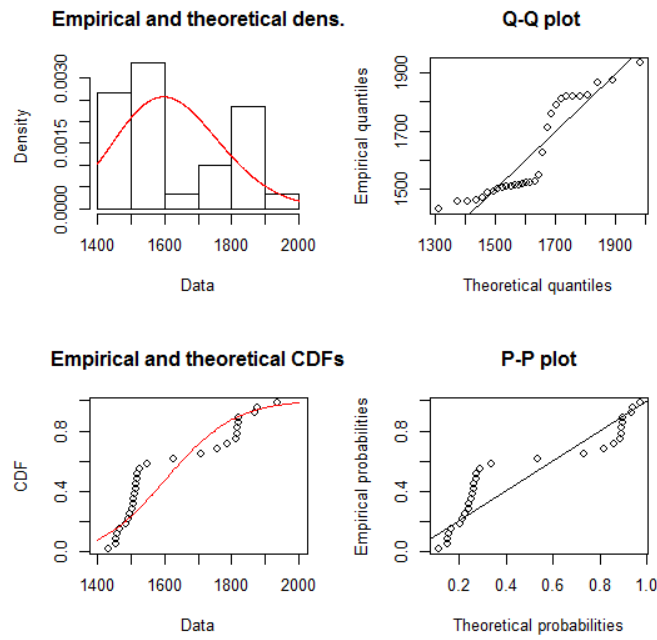


Figura 6.9.: Comparación de precios con distribución Lognormal teórica (Elaboración propia).

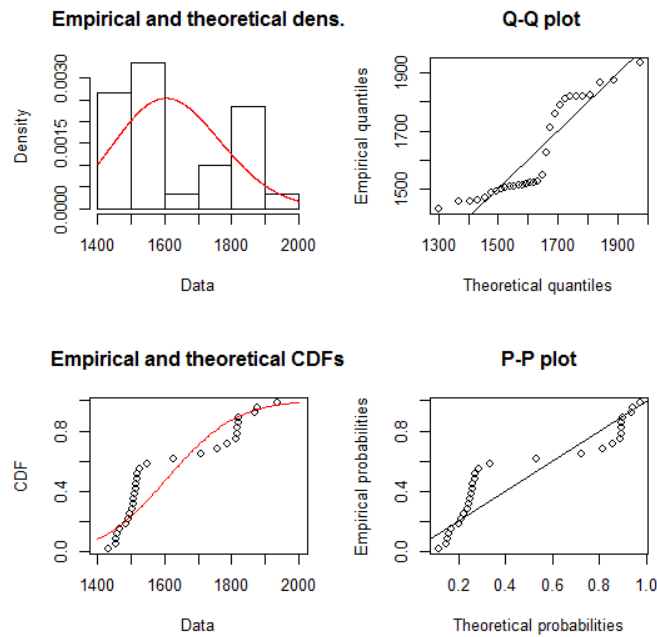


Figura 6.10.: Comparación de precios con distribución Geométrica teórica (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

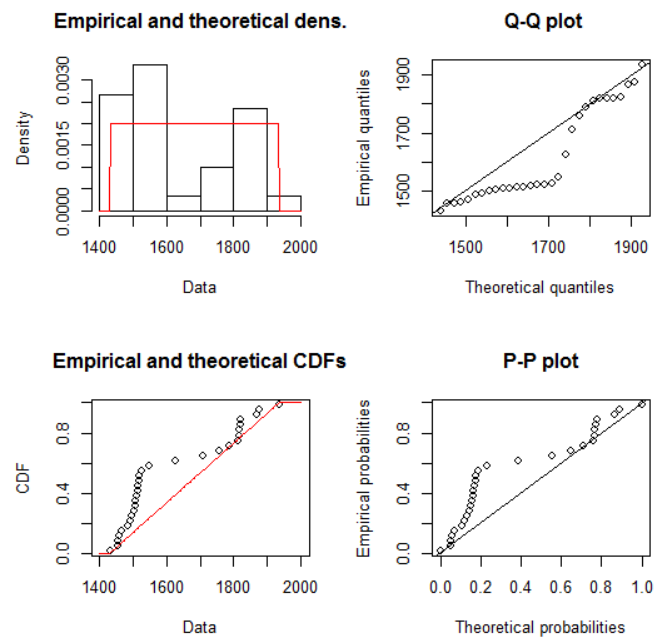


Figura 6.11.: Comparación de precios con distribución Uniforme teórica (Elaboración propia).

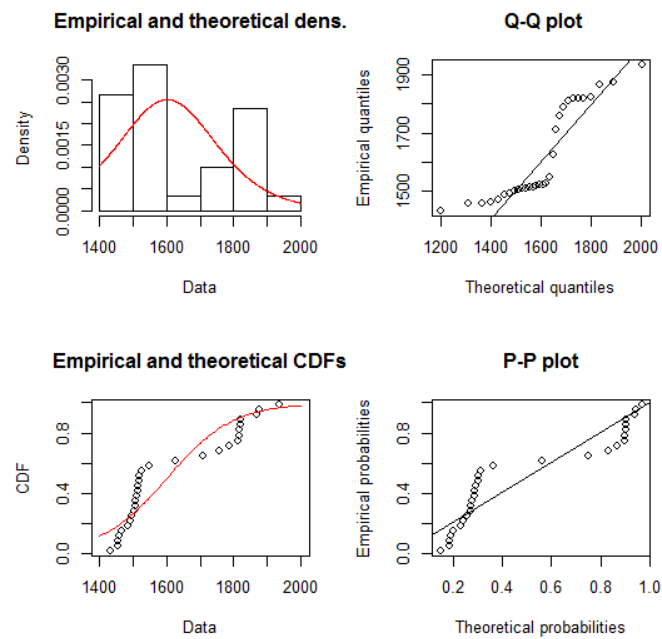


Figura 6.12.: Comparación de precios con distribución Logística teórica (Elaboración propia).



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

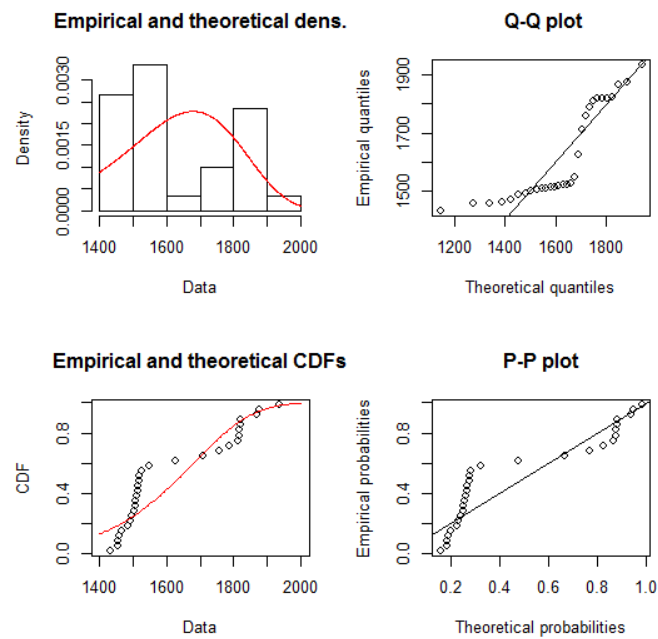


Figura 6.13.: Comparación de precios con distribución Weibull teórica (Elaboración propia).

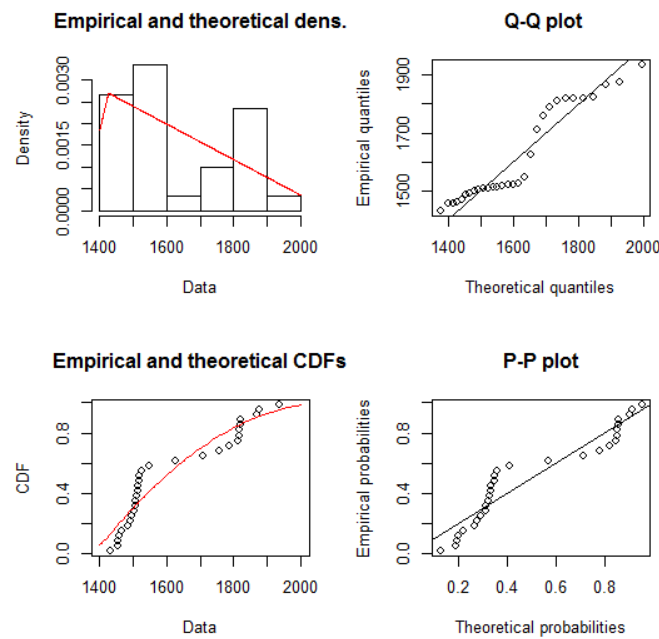


Figura 6.14.: Comparación de precios con distribución Triangular teórica (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

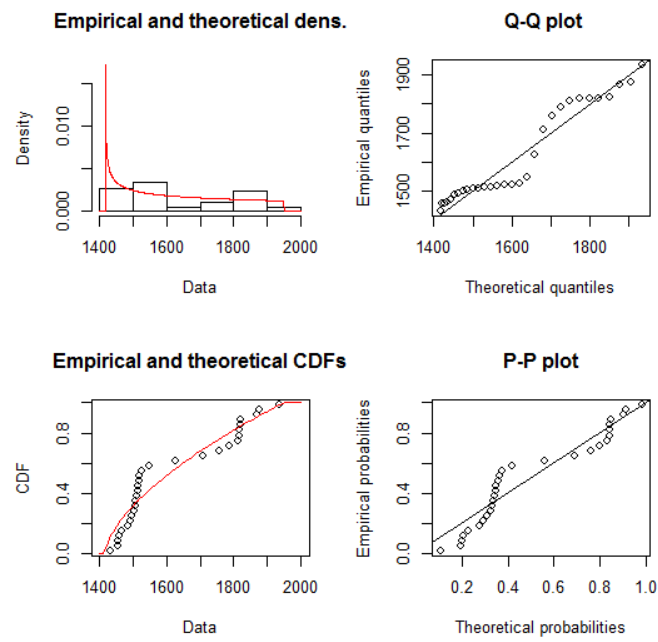


Figura 6.15.: Comparación de precios con distribución Betagen teórica (Elaboración propia).

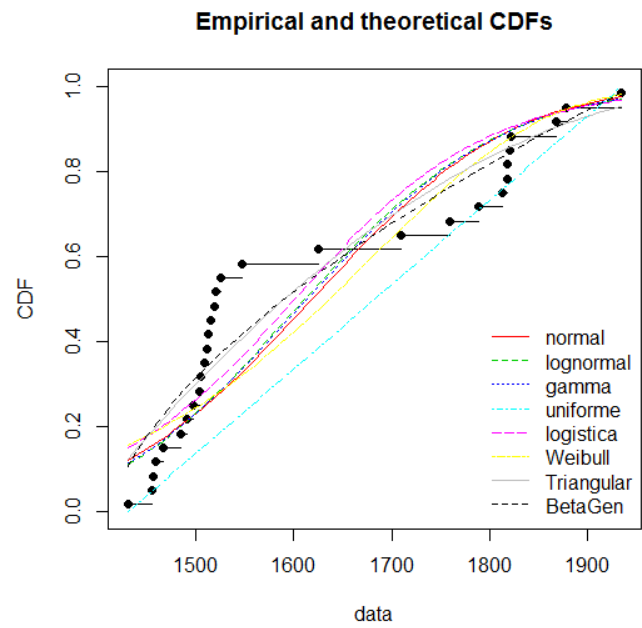


Figura 6.16.: Comparación de precios con función de distribución CDF (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

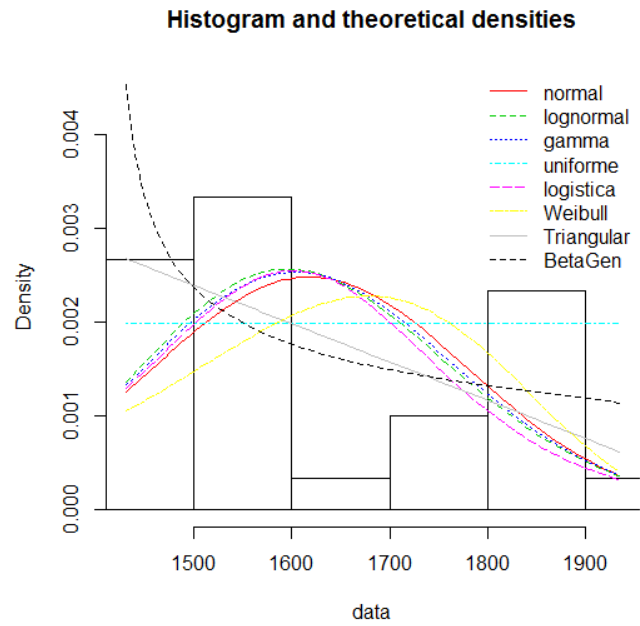


Figura 6.17.: Comparación de precios con funciones de densidad teóricas (Elaboración propia).

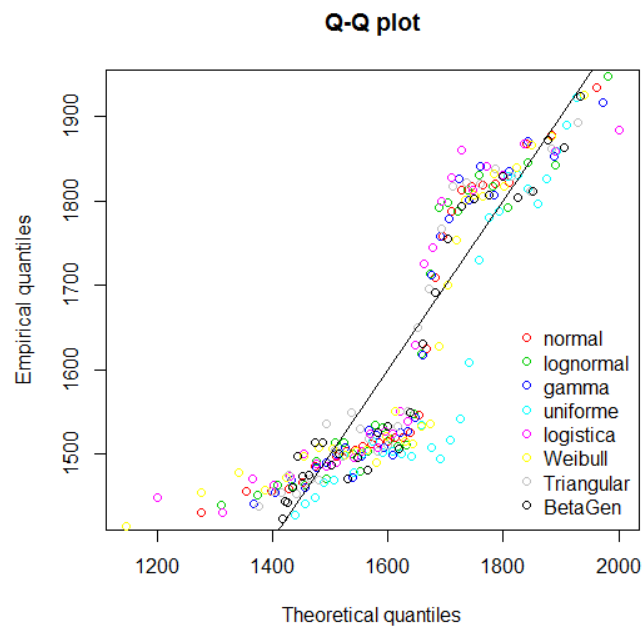


Figura 6.18.: Comparación de precios con cuantiles teóricos QQ (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

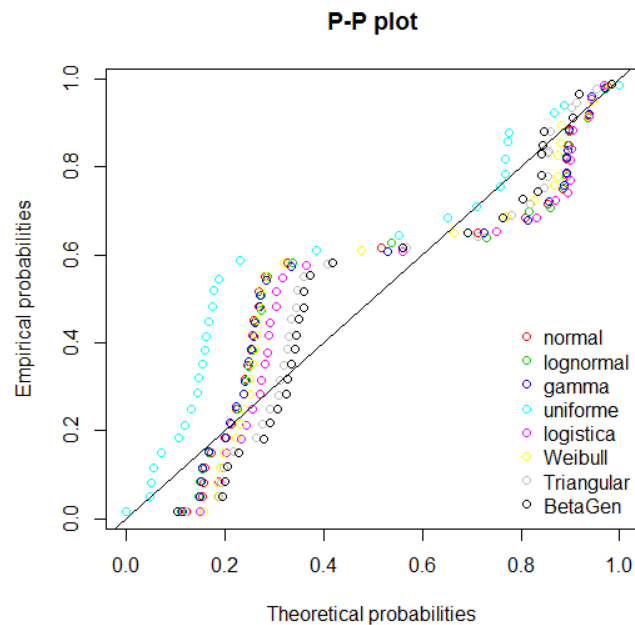


Figura 6.19.: Comparación de precios con probabilidades teóricas PP (Elaboración propia).

zonas verdes públicas y al centro de la localidad, con buena distribución y orientación de la vivienda, y con calidades medias, actualmente puede ser de 1.600 euros por metro cuadrado, es decir unos 144.000 euros para una vivienda tipo de 90 m<sup>2</sup> y 3 dormitorios, por lo que comparando con el último precio de la serie para toda La Rioja, 1.490,50, se trataría de en torno a precios un 7 % más altos, por lo que la fórmula de Excel expuesta en el párrafo anterior deberá ser multiplicada por 1,07. Como se puede ver la variación es pequeña, pero puede haber proyectos en que la diferencia respecto a la media sea mucho mayor.

En la tabla 6.7 se habían indicado unos precios de partida para las ventas obtenidos del último dato disponible de la serie del [Ministerio de Fomento \(2016\)](#) y como allí se indicaba, solo se le aplicará la aleatoriedad al precio de las viviendas, obteniendo el resto por proporción con los parámetros indicados en dicha tabla. En la tabla 6.11 se ofrece una visión de cómo queda la cuenta de resultados con el número aleatorio, junto a los costes de construcción.

En cuanto al coste de construcción, se ha utilizado como serie de referencia para los precios las de las series del [Ministerio de Fomento \(2016\)](#) que ofrece como varían los precios de construcción para diferentes sectores, como edificación residencial que es el que se ha escogido, pero también hay otros. También ofrece datos segregados por mano de obra, materiales o conjunto, que es el que se ha elegido. Los datos también se ofrecen, aunque no todas las series, en el archivo BE\_25\_7.4 del [Banco de España \(2015\)](#).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

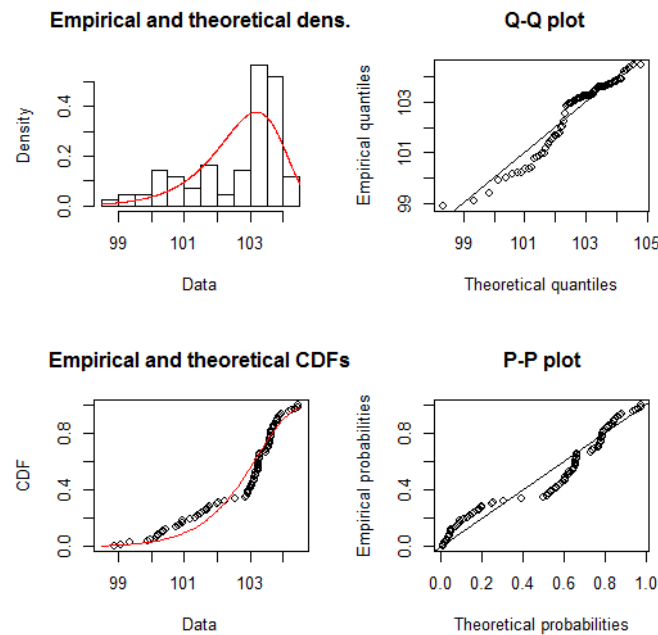


Figura 6.20.: Ajuste a la distribución Weibull de los costes de la construcción (Elaboración Propia)

Se ha decidido utilizar los precios solo a partir de enero de 2010 aunque aparecen de muchos años antes, pero se ha considerado que analizando el comportamiento de la inflación en España es más ajustado tomar solo datos más recientes. Tras el análisis con el script de la sección B.5, las distribuciones que mejor se adaptaban eran la Weibull, Triangular y Beta Generalizada. Se va a escoger la Weibull por utilizar diferentes distribuciones en la Tesis. En la figura 6.20 se ofrece su ajuste, siendo los parámetros de forma 105,88 y de escala 103,19, dejando para el lector la obtención del resto de distribuciones.

Para obtener los números aleatorios de una distribución de Weibull no existe de momento una fórmula en Excel específica, por lo que se ha utilizado la inversa de la función de distribución, obtenida de Wittwer (2004), a la cual se llega calculando la inversa de la función de distribución utilizando logaritmos. Dicha fórmula utiliza los factores de forma y escala calculados con el script, debiendo escribir en la casilla: = escala \* (- LN(1 - ALEATORIO())) ^ (1 / forma), referenciando a las casillas apropiadas.

Por otra parte, la serie utilizada solo es una referencia de cómo varían los costes respecto a una base, por lo que lo que se debe hacer en este caso es convertir en base el valor actual de la serie y calcular el coste definitivo por proporción.

En la tabla 6.7 se habían indicado unos precios de partida para los costes en función de la experiencia y como allí se indicaba, solo se le aplicará la aleatoriedad al precio de las viviendas, obteniendo el resto por proporción con los parámetros indicados en dicha tabla. En la tabla 6.11 se ofrece una visión de cómo queda la cuenta de resultados con el número aleatorio, junto al precio de las viviendas.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Distribución precios venta	Límite inferior	Límite superior	Forma 1	Forma 2	Aleatorio
Beta	1.416,41	1.949,06	0,6298308	1,017922	1.773,037287
Ventas de viviendas	7.333.459,52				
Ventas de comercial	184.555,45				
Ventas oficinas	0				
Ventas plazas de garaje	680.846,32				
Ventas de trasteros	141.842,98				
Otros ingresos (pub., ant...)	0				
Total de ingresos	8.340.704,28				
Distribución costes constr.	Forma	Escala	Aleatorio	Base	
Weibull	105,88	103,19	103,0487518	101,74	
Viviendas	4.066.524,55				
Comercial	52.714,20713				
Oficinas	0			124,95	
Sótanos	423.458,0514				
Trasteros	91.643,90664				
Urbanización interior	189.842,7975				
Total de costes construcción	4.824.183,512				

Tabla 6.11.: Cuenta de resultados. Precios de venta y costes de construcción (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

En cuanto a los costes de la compra del suelo, este es el valor quizá más complejo para encontrar. Además, también puede ser tratado de dos maneras, como un dato, que sería el precio que se pagó por él o el que el vendedor pide, o como una variable ya que en el caso de que se vaya a realizar una ampliación del proyecto o un abandono de este, es interesante saber cuánto vale en el mercado, porque quizá se pueda obtener más rendimiento vendiéndolo. Será este último criterio el que se utilice aquí, ya que se van a estudiar las opciones reales presentes en el proyecto.

Por ello, utilizando un método similar al del caso de los costes de construcción, se tomará como punto de partida el precio por metro cuadrado de suelo urbano en el municipio y se le aplicará la proporción con los obtenidos de la simulación. Para la simulación se ha partido de los datos de las estadísticas del [Ministerio de Fomento \(2016\)](#), que ofrece el precio por metro cuadrado de suelo urbano obtenido de las sociedades de tasación. La verdad es que tras leer la metodología de cómo se calcula la estadística y la serie, la validez del dato es muy cuestionable, ya que no tiene en cuenta si el suelo está urbanizado ni la edificabilidad que tiene ese suelo, ni si se trata de suelo urbano consolidado o suelo urbano no consolidado, e incluso en algunos casos dice que también contempla suelo no urbanizable. Sí que hace una desagregación de los datos muy interesante por tamaños de municipios en función de los habitantes y por provincias, pero el problema es que para casos como La Rioja con tan pequeño tamaño y población, si se elige el criterio de tomar datos por municipios en muchos casos no hay datos. Tampoco es aconsejable usar la serie de La Rioja por separado porque con una metodología como la indicada, los saltos de los precios hacia arriba o hacia abajo no tienen sentido, salvo claro está, por la metodología utilizada, en la que si durante un trimestre se hacen mayor número de tasaciones de suelo urbanizado frente a otros trimestres con suelo urbano no consolidado y con poca edificabilidad aparecen saltos muy grandes que no se corresponden con la realidad. De hecho, si se analiza la serie de La Rioja, se ven caídas de un trimestre a otro del 50 %.

La pregunta que surge es si esto hace que esta estadística no sea utilizable. La respuesta es que sí, pero con matices. El comportamiento del precio del suelo en ubicaciones normales de España seguirá el comportamiento medio de España, aunque con diferentes valores, por supuesto, dependiendo de la localidad, estado del suelo, etcétera. El gerente puede estudiar la serie y si conoce los precios del mercado del suelo de la localidad, o más concretamente, que es lo que interesa, el precio del metro cuadrado de techo de la parcela donde se va a construir, podría sacar una correlación entre ambos precios, porque lo lógico es que presenten el mismo comportamiento. Por ejemplo en este caso, el autor de esta Tesis ha tenido acceso a tasaciones recientes de la parcela en concreto, de otras del Sector 11 y de otras parcelas de la misma localidad, en las que se llega a la conclusión de que el precio del metro cuadrado de techo de suelo urbano en Santo Domingo sin urbanizar para esta parcela puede ser de 97 euros. Tras el análisis de las series, se comprueba, que utilizar la de municipios entre 5.000 y 10.000 habitantes de La Rioja no es posible ya que faltan muchos datos, lo cual es lógico por los pocos municipios que hay en La Rioja en ese rango de población, en concreto 5. Por lo que se va a utilizar dicha serie pero a nivel nacional, de la que se puede suponer que el precio del metro cuadrado de techo, no de suelo, sin urbanizar en Santo Domingo de la Calzada es un

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

30 % inferior al de la serie. Esta decisión se comprobará con Monte Carlo en cuanto se escoja la distribución aleatoria comparándola con el valor propuesto por ratios.

Tras analizar dicha serie con el script B.5, se obtiene que podrían ser utilizadas cualquiera de las distribuciones analizadas, siendo la mejor la Weibull, seguida muy de cerca por la Gamma, la Normal y la Lognormal. Si se observan todos los gráficos que ofrece el script se observa que el hecho de que la Lognormal no esté entre los primeros lugares se debe a la casualidad de que precisamente en su máximo se encuentra un mínimo en los datos, por lo que podría ser utilizada perfectamente y sin cometer ningún error. Como se ha dicho en secciones anteriores, presenta la ventaja respecto a la Normal de que no da precios negativos. Se debe hacer una reflexión acerca de esto de los precios negativos en lo que a los precios del suelo se refiere, ya que en algunos casos en los que los suelos no tienen ningún valor agrícola y ninguna esperanza de desarrollo, y además tienen costes de impuestos, el valor para muchas personas o empresas podría pensarse que es negativo.

Se ha hecho también el análisis de los datos agregados a nivel nacional sin diferenciar entre municipios y se ha encontrado que también pueden utilizarse todas, pero en este caso es un poco mejor la Gamma. En este caso, en lugar de tomar la Weibull, que es la que debería tomarse si se siguiera estrictamente lo indicado por el script, se va a tomar la distribución Gamma por dar más amplitud a los contenidos de la Tesis, ya que al igual que la Lognormal tampoco tiene precios negativos y es necesario comentar una particularidad sobre esta distribución y los parámetros que arroja el script. El resultado obtenido del script es el de la figura 6.21, donde se ve el vacío en los datos de los precios en el intervalo 120 - 160 que es el que penalizaba a la Lognormal, siendo los parámetros de forma 18,9859425 y de ratio 0,1199125, dejando para el lector la obtención del resto de distribuciones.

Para obtener los números aleatorios de una distribución Gamma sí existe una fórmula en Excel específica, por lo que en la hoja de cálculo se obtienen los valores aleatorios con la fórmula `INV.GAMMA(Aleatorio();Forma;(1/ratio))` referenciando a las casillas apropiadas. La razón de introducir el inverso de la ratio es que Excel utiliza un criterio de escala, que es la inversa de la ratio que ofrece `fdistrplus`.

El valor obtenido es el valor medio del suelo urbano en municipios entre 5.000 y 10.000 habitantes y como se ha indicado para obtener el precio del metro cuadrado de techo en Santo Domingo sin urbanizar se deberá multiplicar por 0,70. Como comprobación de esta estimación se calcula con Monte Carlo la media del valor del suelo así según estos valores, obteniéndose 581.443,94 euros prácticamente igual al estimado por ratios de 560.000,00 euros

Tras estos importantes apartados de la cuenta de resultados, aparecen otros que tienen un coste menor y que suele ser más complicado obtener valores previos. En estos casos en los que no se conoce la distribución de datos, entran en juego dos distribuciones que permiten introducir cierta variabilidad. Por ejemplo, en el caso de que se conozcan o se intuyan, el valor mínimo y el máximo que podrían alcanzar los datos pero nada más, la distribución a utilizar sería la Uniforme. Pero si además del mínimo y el máximo, se conoce o intuye también el valor más probable, la distribución a utilizar sería la Triangular. Por lo que en este caso a partir de ahora serán utilizadas a menudo.



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

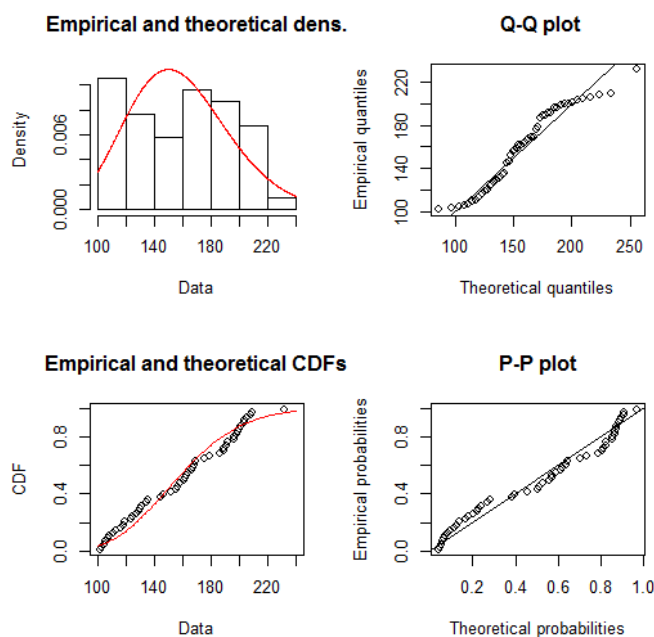


Figura 6.21.: Ajuste a la distribución Gamma de los costes del suelo (Elaboración Propia)

Siguiendo con la cuenta de resultados, en la gestión urbanística del suelo pendiente según lo explicado en esta sección, ya se ha redactado el Plan Parcial y el Proyecto de Compensación, quedando pendiente únicamente el Proyecto de Urbanización y una pequeña parte de otros gastos, como los de la secretaría de la Junta de Compensación. Estos gastos de gestión urbanística pendientes pueden corresponder con el 50 % de los previstos inicialmente en el Proyecto de Compensación y que aparecerían en la tabla 6.7, es decir,  $56.375,98 \times 0,5 = 28.187,99$  €. Pero estos valores siendo los más probables, podrían variar, por obtener mejores ofertas en el proyecto de urbanización, un 10 % a la baja, o por incrementarse el tiempo y aumentando de esa manera los gastos de secretaría, un 5 % al alza, por lo que el valor mínimo y máximo estimados serían respectivamente, 25.369,19 y 29.597,39 euros. Se trataría por lo tanto de una distribución Triangular no simétrica, con el valor más probable más cercano al máximo. Para introducir aleatoriedad a la variable, se ha partido de la fórmula de la función de distribución en la que lo que se obtiene es la probabilidad acumulada de un determinado valor, por lo que se ha despejado para obtener dicho valor a partir de la probabilidad, que se obtiene mediante un número aleatorio. La fórmula en Excel, referenciando a las casillas oportunas es  $=SI(Aleatorio < (Vprobable - Vmín) / (Vmáx - Vmín); Vmín + RAIZ(Aleatorio * (Vmáx - Vmín) * (Vprobable - Vmín)); Vmáx - RAIZ((1 - Aleatorio) * (Vmáx - Vmín) * (Vmáx - Vprobable)))$  donde el valor aleatorio, es el mismo para cada iteración, por lo que deberá haber una casilla con el valor  $=Aleatorio()$ . Como se puede apreciar tiene dos tramos diferentes en función de si se encuentra por debajo o por encima del valor más probable.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

En cuanto a los costes de urbanización, se ha analizado un Informe sobre precios de Proyectos de Urbanización elaborado por el Gobierno Vasco ([Departamento de Vivienda, 2008](#)) en el que se analizan varios proyectos de urbanización del País Vasco y hacen diferentes análisis respecto a los precios en función del tipo de suelo, edificabilidad, situación del suelo dentro de la ciudad, tamaño de población, etcétera. Aunque los precios de urbanización del País Vasco son superiores a los de La Rioja, sí que se pueden extraer conclusiones interesantes sobre el coste que se debe tomar por metro cuadrado, extrapolado a los costes de La Rioja.

En concreto se va a aumentar el precio de 78 euros por metro cuadrado de ejecución material por metro cuadrado urbanizado que se tomó en el proyecto de compensación y que tenía en cuenta que aproximadamente el 45 % era de zona verde, por un precio de 105 euros por metro cuadrado de ejecución material, al que habrá que sumarle los gastos generales, 13 %, y el beneficio industrial, 6 %, obteniendo 124,95 euros por metro cuadrado de precio de ejecución por contrata. Por lo tanto, el precio de urbanización de la parcela 2, en lugar de los 363.429,46 euros que se marcaron en el proyecto de ejecución como carga provisional de ejecución material, se partirá de 582.186,04 euros de ejecución por contrata.

El criterio para introducir la distribución estadística de los precios va a ser utilizar la misma que se utilizó para los costes de construcción de edificación, es decir, la Weibull con factor de forma 105,88 y factor de escala 103,19 y el componente aleatorio será el mismo para que los precios crezcan o decrezcan simultáneamente. Se ha estudiado la posibilidad de utilizar otra serie como la de ingeniería civil, pero estudiando la nota metodológica de [Ministerio de Fomento \(2016\)](#) la ingeniería civil comprende los proyectos licitados por ese Ministerio, y aunque incluye los proyectos de calles, la mayoría son autopistas, carreteras, calles, puentes, túneles, líneas férreas, aeropuertos, puertos y otras obras hidráulicas, sistemas de riego y alcantarillado, instalaciones industriales, gasoductos, oleoductos y líneas eléctricas, instalaciones deportivas, etcétera, que como es conocido son obras mucho más complejas que las obras de una urbanización del tipo que se trata en este proyecto. De todos modos, se comprueba examinando las series, que la variación de precios al alza o a la baja, es parecida en todos los casos.

En cuanto a los costes de proyectos de edificación y dirección de obra, más los costes de dirección de ejecución de la obra, así como los de otros técnicos, se va a estimar en un 5 % del Presupuesto de Ejecución de la Obra, que ha sido calculado anteriormente. Generalmente los honorarios suelen plantearse con un presupuesto teórico, y aquí podría hacerse también de esta manera, pero se entiende que si se está introduciendo aleatoriedad a los costes del proyecto, tiene sentido también hacerlo con los proyectos y que varíen en la misma dirección.

Para los costes del levantamiento topográfico y del geotécnico se va a utilizar la distribución Uniforme. Como se ha comentado anteriormente da la misma probabilidad a todos los valores incluidos dentro de un intervalo. Por la sencillez de la parcela y la uniformidad del suelo donde se ubicará el proyecto, se va a suponer que los precios oscilarán uniformemente entre 3.000 y 4.000 euros. Como se puede comprobar es una partida muy pequeña y podría haberse estimado incluso fija, pero sirve como introducción para la distribución Uniforme. La fórmula de Excel es del tipo =ALEATORIO()\*(V<sub>máx</sub>-

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

$V_{mín})+V_{mín}$ .

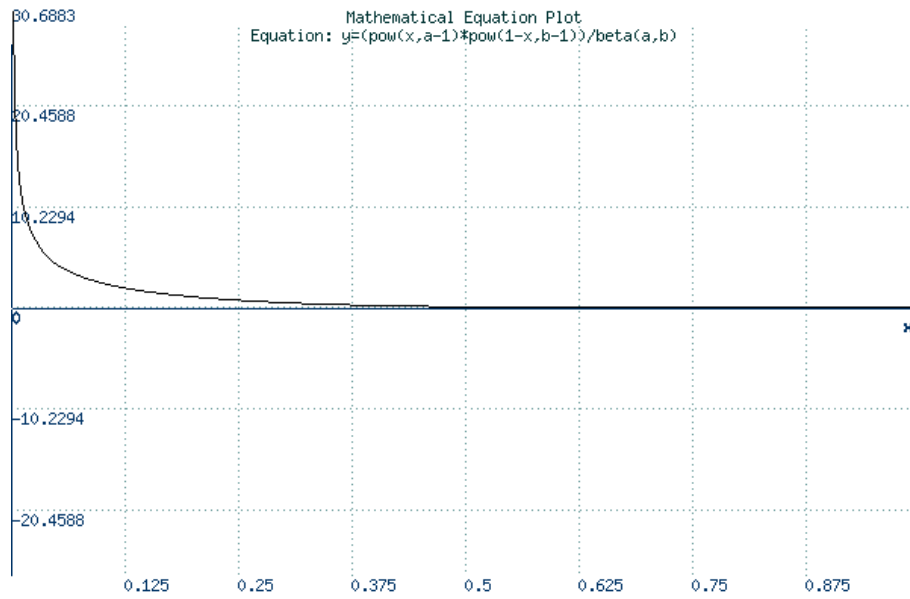
Otra parte importante de los costes de una promoción son los gastos de venta, que se pueden dividir entre marketing y gastos y comisiones de venta. Aunque se podría pensar que los gastos de publicidad y comisiones que destinará el promotor a una promoción serán fijos, eso será en el caso de que las ventas funcionen bien, ya que si se prolonga en el tiempo la promoción, con seguridad habrá que aumentar estos gastos. La distribución que se va a utilizar será la Triangular. Se va a suponer que los gastos de marketing sean del 2 % de las ventas como valor mínimo y más probable, y con la posibilidad de aumentar hasta un 3 % como valor máximo. En cuanto a las comisiones de venta será también la Triangular, siendo su valor mínimo y más probable el 5 %, con la posibilidad de tener que aumentar hasta el 6 % como valor máximo.

En el apartado de gastos administrativos se incluyen los impuestos, tasas y seguros. El importe de estos impuestos en algunos casos viene marcado desde el gobierno central, y en otros desde los gobiernos autonómicos o incluso desde los propios Ayuntamientos por lo que puede variar dependiendo de la ubicación del proyecto. No suelen presentar mucha variabilidad por lo que podrían considerarse como fijos, pero utilizando la función de distribución Beta Generalizada, la cual presenta una gran variedad de formas, puede utilizarse una distribución en la que otorga una gran probabilidad a un valor, pero permitiendo también otros valores y además de forma acotada entre dos valores. En el artículo correspondiente a la distribución Beta en la versión inglesa de [Wikipedia \(2017\)](#) se ofrece un gran abanico de valores de los parámetros con las formas y propiedades correspondientes. Igualmente, en la página web de [Wessa \(2017\)](#) y [Borghers et al. \(2012\)](#) se ofrece la posibilidad de probar con diferentes parámetros de la distribución. Por ejemplo, una distribución con valor de alfa  $< 1$  y beta  $> 5$  es una distribución con una gran probabilidad para el valor mínimo y que desciende rápidamente, por lo que podría ser muy útil para el caso de valores que se supone que no van a disminuir nunca y que tienen poca probabilidad de crecer. El problema es que siempre otorga valores mayores que el actual y nunca menores, ya que la *media*  $= \alpha / (\alpha + \beta)$ . Por otro lado, una distribución con alfa  $> 2$  y beta muy grande es una distribución que, aunque está muy centrada en su media, permite disminuir en cierta medida los valores. En la figura [6.22](#) se ofrecen unos ejemplos de ambas distribuciones generados con la herramienta de [Wessa \(2017\)](#).

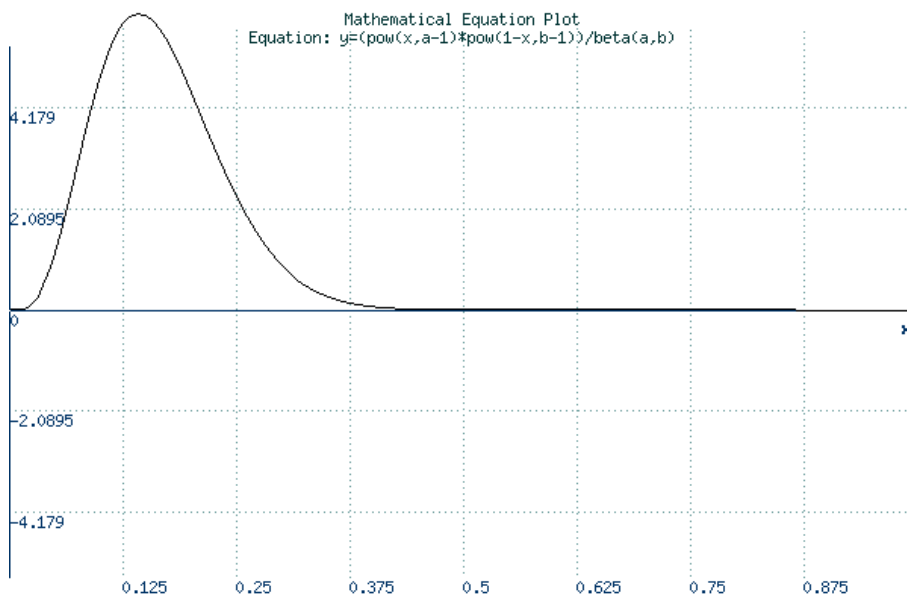
Se va a utilizar la segunda distribución para todos los casos, aplicada en un intervalo tal que la media sea el valor actual. Los parámetros escogidos podrían haber sido otros, pero no existen datos que permitan calcularlos, como sí ha sido posible en casos anteriores.

Por supuesto es válida la opción de suponer fijos los impuestos, pero como en esta Tesis se trata de mostrar las posibilidades que tiene el lector, se va a hacer la suposición de que podrán variar con esta distribución. En el caso de las tasas de licencia, gastos de notario y registro e impuesto de actos jurídicos documentados, el rango será entre 0,8 % y 2 %, cuya media es 1 % ya que es el valor normal para los tres. Para el ICIO o Impuesto de Construcciones, se va a suponer un rango entre 2,5 % y 5,5 %, cuya media es 3 %. Se va a introducir aleatoriedad diferente para todos ellos, ya que no tiene por qué haber una subida impositiva igual ni simultánea para todos ellos. La fórmula para poder

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO



(a) Distribución Beta con alfa = 0.5 y beta = 5



(b) Distribución Beta con alfa = 5 y beta = 25

Figura 6.22.: Ejemplos de distribuciones tipo Beta con diferentes parámetros (Elaboración propia con la herramienta de [Wessa \(2017\)](#)).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

hacer el cálculo en Excel es =INV.BETA.N(ALEATORIO();alfa;beta;límiteinf;límitesup) debidamente referenciado.

En cuanto a los seguros se va a aplicar la distribución Triangular vista anteriormente, con mínimo y valor más probable en el 1 % y máximo en el 1,1 %.

La escasa cuantía de los valores vistos anteriormente o si el entorno económico y la actualidad política hacen suponer que no habrá movimientos en los impuestos, puede hacer pensar que no es necesario introducir aleatoriedad, pero esa decisión deberá ser tomada por el gerente.

Otra partida importante son los gastos financieros. El tipo de interés que conseguirá la empresa dependerá de muchas variables, algunas del mercado y otras de la propia empresa. Es decir, depende de los tipos de interés de los bancos centrales, pero también del estado económico y financiero de la propia empresa, así como de la situación del banco al que se acuda e incluso hasta de la propia oficina con la que se negocia. Por lo tanto, resulta adecuado en este caso utilizar la distribución Uniforme con un rango de variación estimado. Para el ejemplo desarrollado en esta Tesis, teniendo en cuenta el entorno de bajos tipos de interés, se va a suponer un rango de variación entre el 4 % y el 5 % del coste de construcción para toda la obra. Esta partida se ve incrementada si aumenta el tiempo de la obra.

Por último, se deben contemplar los gastos generales de la promoción que se pueden suponer en un 10 % del presupuesto de ejecución, aunque este valor puede ser ajustado por cada empresa en función de muchos parámetros, por ejemplo, su cartera de promociones. A mayor número de promociones, menores gastos generales en proporción. También dependen del tiempo que dure la promoción. En este caso se va a utilizar la distribución Uniforme y suponiendo un rango de variación entre el 9 % y el 11 %.

En la tabla 6.12 se ofrece el conjunto de gastos analizado, así como los parámetros para las distribuciones.

Una vez conocidos todos los gastos e ingresos del proyecto, se debe decidir el momento en el tiempo en el que se produce el gasto. En esta tarea también podría introducirse aleatoriedad pero en esta Tesis no se ha hecho, siendo una de las líneas de investigación que se dejarán para el futuro.

Los gastos del proyecto se van distribuyendo según la estimación del gerente. Por ejemplo, ya que no tiene sentido comentar todos, para la compra del terreno se ha supuesto un mes de trámites, siendo el gasto en el primer mes. Los gastos de gestión urbanística se han distribuido en dos pagos, uno en el segundo mes, del 40 % y otro en el séptimo mes del 60 %. En cuanto a los gastos de urbanización se ha supuesto que las obras duran seis meses y que las derramas se pasan cada mes. El gasto cada mes no es el mismo, ya que depende de la fase de la obra.

Para todos los gastos e ingresos se ha seguido una política similar. En la tabla 6.13 se muestra un extracto de la cuenta de resultados en la que se pueden comprobar todas las partidas y los meses de duración flujo de caja, aunque por razones de espacio no se puede apreciar con detalle la distribución de flujos de caja cada mes. Se ofrecen los primeros a modo de ejemplo.

En la última fila de la tabla se ofrece el flujo de caja en el periodo, sumando o restando según si se trata de ingreso o gasto. Estos flujos de caja deben ser actualizados con el tipo

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Costes	Iteración	Distribución	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3	Parámetro 4	Parámetro 5
Compra de suelo	622.166,85	Gamma	18,98594	8,339414		118,67524	
Gestión urbanís.	25.833,90	Triangular	25.369,19	28.187,99	29.597,38	0,0181194	
Urbanización	589.675,10	Weibull	582.186,04	id. const.			
Total coste suel.	1.237.675,85						
Proy. 5 % PEM	241.209,18	% constr.					
Topog. y geotéc.	3.780,04	Uniforme	3000	4000			
Total de proyec.	244.989,22						
Marketing	193.172,81	Triangular	166.814,08	166.814,08	250.221,12	0,5321785	
Gast. com. venta	434.274,97	Triangular	417.035,21	417.035,21	500.442,25	0,3706660	
Total gast. venta	627.447,79						
Tasa lic1 % PEM	41.781,09	Beta	5	25	0,8	2	0,8660758
ICIO 3 % PEM	142.045,99	Beta	5	25	2,5	5,5	2,9444565
Gastos not. reg.	47.667,61	Beta	5	25	0,8	2	0,988096
Impuesto AJD	49.238,66	Beta	5	25	0,8	2	1,0206631
Seguros	49.172,17	Triangular	48.241,83	48.241,835	53.066,018	0,3485053	
Total gast adm.	329.905,51						
Construc. obra	4.824.183,51						
Tot. gast. const.	4.824.183,51						
Gastos financ.	205.789,13	Uniforme	192.967,34	241.209,17			
Total gast. fina.	205.789,13						
Gastos generales	450.798,35	Uniforme	434.176,51	482.418,35			
Total gast. gene.	450.798,35						
Total de costes	7.920.789,36						

Tabla 6.12.: Gastos del proyecto en un escenario aleatorio con la distribución correspondiente y parámetros necesarios (Elaboración propia).

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

	Inicio	Duración	Final	Importe	1	2	3
Compra suelo trámites	0	1	1	100 % 622.166,85	100 % 622.166,85		
Gestión urbanística	1	6	7	100 % 25.833,90		40 % 10.333,56	
Urbanización	1	6	7	100 % 589.675,10		10 % 58.967,51	10 % 58.967,51
Proyecto básico	7	1	8	100 % 100.263,71			
Proyecto de ejecución	8	6	14	100 % 72.362,75			
Ventas	14	28	42	100 % 8.340.704,28			
Obtención licencia	14	4	18	100 % 183.827,07			
Construcción	18	20	38	100 % 4.824.183,51			
Dirección de obra	18	20	38	100 % 72.362,75			
Gastos de venta	14	28	42	100 % 627.447,79			
Gastos administrativos	38	4	42	100 % 146.078,44			
Gastos financieros	0	42	42	100 % 205.789,13	2 % 4.899,74	2 % 4.899,74	2 % 4.899,74
Gastos generales	0	42	42	100 % 450.798,35	2 % 10.733,29	2 % 10.733,29	2 % 10.733,29
Flujo de caja en el periodo					-637.799,89	-84.934,11	-74.600,55
Flujo de caja actualizado	Tipo inter. anual	0,05	Tipo inter. mens.	0,0040741	-635.211,95	-84.246,25	-73.696,13

Tabla 6.13.: Extracto de cuenta de resultados. Distribución temporal de flujos de caja (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

de interés correspondiente. En este proyecto se ha utilizado un 5 % anual, que deberá ser transformado a tipo de interés mensual con la ecuación 6.1.

$$t_{12} = (1 + t)^{\frac{1}{12}} - 1 \quad (6.1)$$

### 6.1.3. Cálculo del VAN del proyecto

Por último, se calcula el Valor Actualizado Neto VAN y la Tasa Interna de Retorno TIR, los cuales pueden ser calculados con las fórmulas conocidas o con las que ofrece Excel.

La pregunta que surge tras la lectura de la sección 6.1.2 es cuál es el VAN del proyecto con la cuenta de resultados que se ha planteado. En primer lugar, cabe preguntarse cuál sería el valor del VAN obtenido con precios estáticos, tomando como valor para cada parámetro, el valor más probable, y sin aplicar las distribuciones aleatorias que se han comentado hasta ahora, siendo en ese caso el VAN = -486.113,90 € euros y la TIR = -2,11 %. Este resultado haría abandonar el proyecto. Pero en este caso no se tiene un único valor. Por ejemplo, aplicando la aleatoriedad, se obtienen infinitas posibilidades del VAN, es más, se obtiene una cada vez que se introduce un nuevo dato en la hoja Excel en cualquier casilla o cada vez que se pulsa la tecla F9. En la tabla 6.13 se ofrecen los datos de uno de estos escenarios aleatorios, siendo el valor del VAN = 5.456,93 euros y la TIR = 5,07 %, pero como se ha dicho, este valor solo es uno de los infinitos escenarios.

Es en este momento cuando se debe aplicar la técnica de Monte Carlo. Utilizando el programa Montecarlito (Auer, 2012), ya comentado y utilizado en la Tesis anteriormente, se pueden generar muchos escenarios y obtener el valor medio y otros resultados interesantes. También se puede hacer con la herramienta tabla de Excel si no se quiere utilizar Montecarlito, obteniéndose los mismos resultados, pero la diferencia es que ralentiza el uso de la hoja Excel si se tiene la tabla creada, ya que genera todos los escenarios cada vez que se introduce un dato, por lo que aquí se ha escogido Montecarlito. Como ya se comentó, se ha modificado ligeramente el código para obtener más datos a los que ya aporta la herramienta original, por ejemplo, los percentiles. Se han calculado 20.000 escenarios, aunque es suficiente con menor número, obteniendo los resultados de la tabla 6.14 tanto para el VAN como para la TIR. Para evitar que Excel sobrepasara su límite de cálculo con la varianza, se ha dividido el VAN entre 1.000 obteniendo el resultado en miles de euros, aunque no se pierde precisión ya que lo calcula con todos los decimales, de ahí el desbordamiento en el cálculo de la varianza.

La información suministrada es muy interesante. Se observa que la media del VAN es -116.860,51 euros, superior al valor obtenido con los parámetros estáticos -486.113,90 euros. Pero es en el resto de los datos donde se aprecia la variabilidad que presenta. Por ejemplo, la mediana con -232.998,38 euros y el coeficiente de asimetría de 0,404 da la idea de que la distribución se encuentra con asimetría a la derecha. La desviación estándar de 654.525,04 euros muestra la gran variabilidad que tiene la distribución y permite intuir que muchos escenarios dan valores positivos del VAN, por lo que esto hace que se inicie la duda de si se debe rechazar el proyecto. Los valores máximos y mínimos no dejan de



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Variable	VAN (miles de €)
Número de escenarios	20.000
Media	-116,86051
Error estándar	4,628
Mediana	-232,99838
Desviación estándar	654,52504
Varianza	428.403,027
Asimetría	0,404
Curtosis	2,052
Máximo	1.631,198
Mínimo	-1.476,071
Percentil 0.01	-1.143,543
Percentil 0.05	-984,519
Percentil 0.25	-678,109
Percentil 0.50	-233,017
Percentil 0.75	408,856
Percentil 0.95	1.043,134
Percentil 0.99	1.265,325
Percentil (VAN=0)	0,599

Tabla 6.14.: Parámetros obtenidos con técnica de Monte Carlo para el VAN de la cuenta de explotación (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

ser anecdóticos entre los 20.000 calculados, pero dan una orientación acerca de la gran dispersión que puede haber en los resultados.

Por último, los percentiles calculados, incluso el que hace el VAN = 0, demuestran que en un 40,1 % de los escenarios el VAN es positivo, incluso en un 25 % con un resultado mínimo de 408.856,13 euros.

Tras los resultados obtenidos, la conclusión que se puede obtener es que antes de descartar el proyecto, debe hacerse un análisis mucho más ajustado de todas las variables, ya que, si fuera posible reducir gastos y aumentar ingresos, el proyecto podría ser rentable.

Todo este análisis se ha hecho sin entrar en el de opciones reales.

### 6.2. CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD DEL PROYECTO

A lo largo de varias secciones de esta Tesis se ha explicado cómo calcular la volatilidad de un proyecto. En esta sección repasaremos los métodos existentes y procederemos a calcularla usando varios de ellos.

En la sección 3.1.1 se indica que un método consiste en calcular la volatilidad de los flujos de caja del proyecto a través de la desviación estándar de los logaritmos de los flujos de caja del activo subyacente, no de los datos sin tratar, y se suele expresar en % anual (Mun, 2002; Kodukula y Papudesu, 2006). Asimismo, en la sección 5.2 se explica este método para obtener la también denominada volatilidad histórica, según el capítulo dedicado a su cálculo por Prosper Lamothe en el libro de Mascareñas *et al.* (2003).

El cálculo se hace a partir de la ratio del flujo de caja actual partido por el precedente.

$$r_1 = \ln \left( \frac{S_t}{S_{t-1}} \right)$$

$$\bar{r} = \sum_{t=1}^n \frac{r_t}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{t=1}^n (r_t - \bar{r})^2$$

Pero aunque es muy sencillo, puede haber errores por ejemplo si aparecen flujos de caja negativos, porque no existe el logaritmo, o si para estimar los flujos de caja se han utilizado series temporales o ratios constantes de crecimiento. En el caso de un proyecto inmobiliario aparecen flujos de caja negativos, por lo que este método en teoría no podría ser utilizado. Pero dado que en muchos casos son negativos, y en ese caso la ratio es positiva y por lo tanto sí se puede aplicar el logaritmo, y que además hay pocos cambios de signo, que es cuando verdaderamente aparece el problema, para no descartar este método o al menos para conseguir parte de información, podría utilizarse y eliminar aquellos en los que hay cambios de signo.

En el caso estudiado en esta Tesis, y teniendo en cuenta que se ha aplicado aleatoriedad en el cálculo de los flujos de caja, cada uno de ellos sería solo un escenario, por lo que

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

otro método más perfeccionado consiste en la utilización del método de Monte Carlo para la obtención de los flujos de caja a partir de la simulación de todas las variables o de las más representativas tras el oportuno análisis de sensibilidad, y después aplicar el método anterior. Ello obliga a aplicar el método de Monte Carlo con miles de escenarios para cada mes del proyecto, pero es así como debe calcularse (Kodukula y Papudesu, 2006). Este será uno de los métodos utilizados en esta Tesis.

Otro método es utilizando un proyecto similar para comparar. Se parte de un proyecto anterior y similar al actual y se calculan en base a él los flujos de caja previstos y luego se utilizan los métodos anteriores (Kodukula y Papudesu, 2006). Este método no será utilizado en esta Tesis.

Mascareñas *et al.* (2003) proponen un método que sirve como acercamiento al valor de la volatilidad en las opciones reales. Consiste en buscar empresas cotizadas que posean en su cartera únicamente proyectos idénticos al que se está valorando y en ese caso obtener la volatilidad a partir de la volatilidad histórica de las acciones de la empresa, o si existen opciones sobre las acciones, a partir de la volatilidad implícita de estas opciones. Kodukula y Papudesu (2006) también proponen este método de comparación de mercado, pero indicando que es bastante más inexacto que los anteriores.

En el caso de los proyectos inmobiliarios un tipo de empresas similares serían las actuales Socimis, y se estudiará su volatilidad en esta Tesis, pero en realidad es difícil saber qué grado de exactitud tendrá esta medida ya que la cartera de proyectos de una Socimi tiene suelos de muchos tipos, residencial, industrial, comercial, etcétera, y el proyecto que se analice será de un tipo concreto.

Por último, está el método de estimación del gerente del proyecto (Kodukula y Papudesu, 2006), en el que se estima un escenario optimista que solo será superado el 2 % de las ocasiones, un pesimista que solo será peor en el 2 % de las ocasiones y un escenario medio con la probabilidad del 50 %. Si se asume que la distribución de los pagos es la Lognormal, conociendo dos de las tres estimaciones anteriores, se puede calcular la volatilidad con las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{\ln\left(\frac{S_{opt}}{S_{med}}\right)}{2\cdot\sqrt{t}} \quad \sigma = \frac{\ln\left(\frac{S_{med}}{S_{pes}}\right)}{2\cdot\sqrt{t}} \quad \sigma = \frac{\ln\left(\frac{S_{opt}}{S_{pes}}\right)}{4\cdot\sqrt{t}} \quad (6.2)$$

Este mismo método, aunque con alguna variación es presentado por Mascareñas *et al.* (2003) citando a Copeland y Antikarov (2001), diciendo que solo se utilizará en caso de no tener ningún dato. El método consiste en preguntar a los directivos de la propia empresa o a externos cuál es el rango de variación de la variable que se está utilizando. Si se supone que su distribución será la Normal, se les puede preguntar cuál es el valor medio, máximo y mínimo de la ratio de crecimiento de una variable que esperan en un determinado plazo de tiempo, y se le asigna un intervalo de confianza del 95 %. Aunque la pregunta es muy compleja, una vez conocidos los valores, la obtención de la volatilidad es muy sencilla ya que se obtiene a partir de las fórmulas de la distribución Normal (Mascareñas *et al.*, 2003):

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

$$\sigma = \frac{r_{\max} - \bar{r} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad \text{ó} \quad \sigma = -\frac{r_{\min} - \bar{r} \cdot t}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad (6.3)$$

Aunque no es necesario aplicar este método en este caso, porque existe información, se probará su uso, pero no con la estimación del gerente, sino con los percentiles obtenidos en la simulación de Monte Carlo.

Un punto muy importante y fuente de frecuentes errores es utilizar la volatilidad calculada con una base de tiempo concreta y utilizarla en los modelos para tiempos diferentes. Es decir, si la volatilidad se ha calculado con flujos de caja trimestrales ( $T_1 = 0,25$ ), y en los modelos se están utilizando pasos de tiempo anuales ( $T_2 = 1$ ), se debe transformar con la siguiente fórmula.

$$\sigma_{T_2} = \sigma_{T_1} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

En un proyecto la volatilidad suele provenir de diferentes fuentes de incertidumbre, ingresos, gastos, etcétera, pudiendo ser muy diferentes. El cálculo entonces puede hacerse de diferentes formas, calculando la volatilidad agregada, o haciéndolo por separado, y si se decide mantener la volatilidad separada, calculando opciones arco iris, que se definieron en la sección 3.2.9. Por último, hay que indicar que la volatilidad puede cambiar durante la vida del proyecto, lo cual haría necesario modificarla en el modelo.

En la sección 3.2.9 se indica que la volatilidad se calcula como un factor agregado construido a partir de muchas de las incertidumbres que contribuyen a ella. Por ejemplo, la volatilidad agregada usada en análisis de un proyecto inmobiliario podría venir dada por la agregación de la volatilidad del precio de venta, de los costes de construcción, del precio del suelo, etcétera (Kodukula y Papudesu, 2006).

Una vez vistos y repasados los métodos teóricos el siguiente paso es conocer qué han hecho otros investigadores para elegir el mejor método. El resultado no solo no es esclarecedor, sino que contribuye a crear confusión.

Por ejemplo, hay varios autores que utilizan el método de la volatilidad histórica. Pero aunque teóricamente el método se aplica a los flujos de caja, como hacen Guevara *et al.* (2009), otros como Calle y Tamayo (2009) lo aplican a los ingresos, vía los precios. Esta variación tiene la ventaja de que elimina los flujos de caja negativos, ya que los precios solo pueden ser positivos. La volatilidad obtenida es más baja que si se aplica a los flujos de caja.

También hay varios autores que utilizan el método de Monte Carlo para calcular la volatilidad directamente del VAN, a través del coeficiente de variación del VAN, siendo el coeficiente de variación el cociente entre la desviación estándar y la media. Pero a las conocidas ventajas de este parámetro, como la adimensionalidad, hay que comentar la gran desventaja que es que toma valores muy altos si la media es cercana a cero, y para el caso del VAN es muy posible que el valor sea cercano a cero. Por esta razón hay autores que incluyen todos los flujos porque no tienen el VAN cercano a cero, como Sastoque (2014) y otros que excluyen el pago del terreno o la urbanización, de manera que la media aumenta y así no hay problema de que esté cercana a cero al aumentar

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

la media del VAN como Gracia (2014) por citar algunos, e incluso llevado al extremo, otros autores toman solo los ingresos, de manera que siempre se aseguran de que sale la media positiva. Retirando el valor de la inversión inicial, o como en el caso del proyecto de esta Tesis, la urbanización y la compra del suelo, consiguen mantener la mayor parte de los flujos que tienen la mayor parte de la volatilidad y se eliminan factores, que aunque tienen también volatilidad, puede ser más reducida ya que ocurren al inicio del proyecto.

Pero, por supuesto se genera la duda de cuál es el método correcto, porque los resultados obtenidos son diferentes en todo caso. La respuesta no es sencilla, y de hecho ya se adelantó que el cálculo de la volatilidad es el más complicado de todos los parámetros.

Este será el problema también que se encuentra en esta Tesis, ya que el VAN es cercano a cero. Pero en lugar de tomar un valor único de la volatilidad dando por hecho un valor obtenido con uno cualquiera de los métodos, se ha considerado más adecuado, obtener una colección de datos de volatilidad, de manera que el gerente pueda tomar una decisión acertada a la vista de todos ellos.

En esta sección se calculará la volatilidad de diferentes variables del proyecto y por diferentes métodos ya comentados en la parte teórica de la Tesis, que posteriormente serán analizados para tomar la decisión de qué valor se utilizará en el cálculo. No se van a comentar las ventajas y desventajas de cada uno porque ya se ha hecho en la introducción de esta sección.

### 6.2.1. Volatilidad histórica de los precios de la vivienda

Se utilizan las series de precios de la vivienda ya utilizadas con anterioridad en la sección 6.1.2 y se calcula la volatilidad anual con el script B.1 de la distribución Lognormal. Los valores obtenidos para la serie de precios del conjunto de España es  $\sigma_{\text{presp}} = 4,79\%$ . Los valores obtenidos para la serie de precios de La Rioja es  $\sigma_{\text{prrio}} = 6,06\%$ . Como se puede comprobar los valores obtenidos son bajos y como era de suponer más bajos en el conjunto de España que en La Rioja por separado.

Estos valores de volatilidad no tienen en cuenta la volatilidad proveniente del resto de variables que influyen en el VAN, por lo que puede ser tomado como un límite inferior y no será utilizado en el cálculo.

### 6.2.2. Volatilidad histórica de las cotizaciones de empresas inmobiliarias

Se van a utilizar las cotizaciones de las Socimis que en el momento de redacción de esta sección cotizan en España en el Mercado Continuo, que son Merlin Properties Socimi, S.A. la cual también cotiza en el IBEX 35, LAR España Real Estate Socimi, S.A., Axiare Patrimonio Socimi, S.A. e Hispania Activos Inmobiliarios Socimi S.A. Tras la descarga de datos de su cotización se les aplica el script B.1 obteniendo su volatilidad. Los valores obtenidos son  $\sigma_{\text{cotlar}} = 23,51\%$ ,  $\sigma_{\text{cothis}} = 24,42\%$ ,  $\sigma_{\text{cotmer}} = 25,12\%$  y  $\sigma_{\text{cotaxi}} = 27,18\%$ .

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Se observa que la volatilidad de las cuatro empresas está en una horquilla bastante ajustada.

### 6.2.3. Volatilidad implícita de las cotizaciones de opciones o warrants de empresas inmobiliarias

No siempre es posible, pero en este caso en el momento de redacción de esta sección en la primavera del año 2017, en el mercado español están cotizando varios warrants sobre empresas inmobiliarias. En concreto, Commerzbank ([Commerzbank AG, 2017](#)) comercializa varios warrants sobre Merlin Properties Socimi, S.A., dos cotizando en la Bolsa de Madrid y el resto sin cotizar pero comercializados a través de la plataforma de Renta 4 Banco. Se ha extraído la información de la página web de warrants de España de Commerzbank. El dato de la volatilidad debe ser consultado en varios días, e incluso varias veces al día, ya que puede variar bruscamente de un día a otro y se debe tener una base de datos para poder elegir el valor más adecuado. Es decir, si solo se tomaran datos de días en los que existieran turbulencias financieras o grandes movimientos de la bolsa, este dato de la volatilidad sería mayor y no sería adecuado. Los emisores de warrants no suelen publicar los datos históricos de la volatilidad de sus warrants, solo los datos históricos de cotización y como se ha indicado anteriormente el cálculo de la volatilidad implícita se obtiene a partir de los datos de mercado de cada emisor, que es el que la elige y no obedece a una fórmula que sea pública, pudiendo utilizar diferentes fórmulas cada emisor, por lo que la volatilidad implícita puede variar, incluso el mismo día de un emisor a otro.

Concluyendo, sería preferible utilizar warrants de varios emisores, los cuales pueden utilizar métodos diferentes para el cálculo de la volatilidad implícita, y sería deseable también sobre varios subyacentes y en diferentes momentos de tiempo, pero esto no siempre será posible, salvo que se disponga de una base de datos amplia que será la propia empresa la que la deberá elaborar a lo largo del tiempo.

Mientras se elaboraba la Tesis, solo se disponía de datos de los cinco warrants comentados, dos warrants cotizados en el mercado y tres más a través de la plataforma de Renta 4 Banco, con diferentes tiempos de expiración y precios de ejercicio, cuyos datos el 17 de abril de 2017, cuando cotizaban las acciones de Merlin a 10,805 euros, se ofrecen en la tabla 6.15. Esta tabla sería una foto fija de ese día y hora concretamente, cambiando el resto del tiempo, aunque con pocas variaciones en cuanto a los valores de la volatilidad. Se han escogido los warrants de este emisor, ya que en el momento de elaboración de la Tesis era el que mayor oferta tenía, por lo que así sería posible hacer un promedio de las volatilidades implícitas de más warrants. Las volatilidades implícitas, durante el tiempo que se hizo el seguimiento, varían en un estrecho rango entre 26 % y 32 %, siendo los valores más bajos los de los warrants que están muy próximos al ejercicio y muy fuera del dinero. El resto presentan valores muy constantes, de los que se concluye calculando la media, que el valor de volatilidad aproximado es de  $\sigma_{\text{warr}} = 28,76\%$ .

La evolución de la volatilidad el resto del año 2017, donde al final del año cotizaban 28 warrants sobre Merlin Properties Socimi, S.A. y ya se tenía un mayor abanico ha seguido en la misma línea, aumentando ligeramente, hasta el entorno del 29 %, por lo que se

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

considera válido el valor utilizado.

### 6.2.4. Volatilidad de los flujos de caja

En esta sección se van a aplicar dos métodos para calcular la volatilidad de los flujos de caja, el de la volatilidad histórica y el de combinación de incertidumbres, que es una variante que surge a partir del método del coeficiente de variación.

Es importante aclarar que ninguno de los dos será utilizado para la valoración final por no cumplir con los requisitos necesarios para poder aplicarlos.

#### 6.2.4.1. Cálculo con el método de la volatilidad histórica

Se aplica el método utilizado para el cálculo de la volatilidad histórica a los flujos de caja de cada mes. Esto se puede hacer de dos formas, aplicándolo a los flujos de caja mensuales obtenidos de forma estática o a los obtenidos mediante la aplicación del método de Monte Carlo a cada uno de los flujos de caja mensuales. Aunque este último método resulta costoso en el tiempo, se va a utilizar en la Tesis también, por lo que en esta sección se van a obtener dos valores de la volatilidad. Los flujos de caja serán los actualizados por el tipo de interés.

Es muy importante advertir que el método presenta varios problemas, que prácticamente lo invalidan para aplicarlo a los proyectos inmobiliarios de este tipo, aunque no para otro tipo de proyectos, siendo uno de los mejores cuando no se den los problemas que a continuación se enumeran.

El primero de ellos ocurre cuando se producen cambios de signo en los flujos, ya que no se puede calcular el logaritmo neperiano de un número negativo. Por lo tanto, se puede pensar que el método no es válido y detener aquí el análisis, pero como se va a comprobar parte de la información podrá ser utilizada. El problema surge porque en el proyecto hay parte del tiempo en el que no hay ingresos y los gastos no son constantes tampoco en el tiempo. Es decir, no se trata de un proyecto en el que los ingresos y los gastos son continuos aunque con variaciones. Por eso hay investigadores que solo aplican el método a los ingresos o a los precios de venta para tratar de evitar problemas, pero en esta Tesis no se entra a valorar las decisiones tomadas en otras investigaciones.

En segundo lugar la volatilidad es muy alta por lo mencionado en el punto anterior de las discontinuidades en los flujos. Es decir, existen picos de volatilidad por ejemplo, cuando comienza la urbanización y también cuando se termina, cuando comienzan las ventas, cuando comienza la construcción y cuando se terminan. No ocurre esto por ejemplo en la investigación planteada por *Guevara et al. (2009)* ya que distribuyen los ingresos y los gastos desde el mismo mes, por lo que evitan los picos en la entrada y salida en el cómputo de flujo de cada variable. Pero dependiendo de cada proyecto, este planteamiento de igualar el mes de comienzo de gastos e ingresos puede no ser adecuado. En el caso analizado en esta Tesis no sería adecuado, pero puede haber proyectos especiales que sí lo sea.

Vistos los dos problemas anteriores, se podría directamente abandonar el cálculo de la volatilidad por esta vía. Pero teniendo en cuenta los problemas comentados, el

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Información sobre cotización del producto					
Compra	0,72 €	0,28 €	0,48 €	0,21 €	0,00 €
Venta	0,74 €	0,30 €	0,51 €	0,23 €	0,02 €
Máximo diario	0,73 €	0,28 €	0,49 €	0,22 €	0,001 €
Mínimo diario	0,67 €	0,28 €	0,46 €	0,19 €	0,001 €
Información del producto					
ISIN	DE000CD 64HS8	DE000CD 64HT6	DE000CE 7JL44	DE000CE 7JL69	DE000CE 7HTX3
Código	G1437	G1438	CE7JL4	CE7JL6	CE7HTX
Nombre del Producto	Warrant (Call)	Warrant (Call)	Warrant (Call)	Warrant (Call)	Warrant (Call)
Activo subyacente	Merlin Properties	Merlin Properties	Merlin Properties	Merlin Properties	Merlin Properties
Paridad	2:01	2:01	2:01	2:01	2:01
P. Ejercicio	10,000 €	12,000 €	12,000 €	14,000 €	13,500 €
Fecha Emisión	17/02/2017	17/02/2017	08/03/2017	08/03/2017	08/02/2017
Fecha vencim.	15/12/2017	15/12/2017	21/09/2018	21/09/2018	16/06/2017
Emisor	CommerzbankAG	CommerzbankAG	CommerzbankAG	CommerzbankAG	CommerzbankAG
Renta 4 Directo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Bolsa	Madrid	Madrid	no listing	no listing	no listing
Estilo	European	European	European	European	European
Indicadores técnicos					
Delta	0,633	0,358	0,422	0,241	0,023
Apalancamiento	7,388	18,129	10,809	24,565	270,708
Elast. Omega	4,651	6,491	4,56	5,911	6,152
Theta	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0
Vega	0,016	0,016	0,025	0,02	0,001
Volatil. Implícita	31,6	29,2	28,5	28,0	26,5
Prima (%)	6,24 %	15,83 %	20,27 %	33,60 %	25,04 %
Dist. al Tick	0,032	0,056	0,047	0,083	0,88
Valor intrínseco	0,393	0	0	0	0
Valor temporal	0,337	0,3	0,5	0,2	0

Tabla 6.15.: Warrants sobre Merlin Properties Socimi, S.A. emitidos y comercializados en España por **Commerzbank AG** (2017).



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

gerente podría calcular la volatilidad en diferentes fases del proyecto en lugar de en fase conjunta, lo cual le puede servir más adelante para tomar decisiones. Se puede argumentar que este método no capta toda la volatilidad y así es, pero es mejor que intentar adaptar la realidad a un método, porque los resultados siempre serán erróneos. Por ejemplo, en la cuenta de explotación de este proyecto, se puede encontrar la fase de urbanización, la fase de tramitación de licencias, la fase de preventas, la fase de construcción del edificio y la fase de finalización de las ventas. En el paso de unas a otras se producen variaciones de signo en los flujos y en algunos casos, aunque se mantienen los flujos, se producen grandes variaciones.

Si se hace el cálculo con la cuenta de explotación estática, eliminando únicamente los valores con cambio de signo la volatilidad calculada es del 320 %, valor esperado y muy alejado de los valores entre el 10 % y el 20 % obtenido por otros autores que calculan los ingresos y gastos como si existieran todos los meses. Pero si se calcula la volatilidad por fases, se obtiene un valor medio de  $\sigma_{\text{fluest}} = 45,3\%$ . Si se realiza el cálculo por Monte Carlo para cada flujo el valor obtenido es  $\sigma_{\text{flumon}} = 45,9\%$ .

### 6.2.4.2. Cálculo con método de combinación de incertidumbres

Como ya se ha comentado en esta sección un método utilizado para calcular la volatilidad, es a partir del coeficiente de variación, el cual se obtiene del cociente entre la desviación estándar y la media obtenidas a partir del método de Monte Carlo, y se suele aplicar al VAN.

Pero es importante introducir una reflexión surgida tras la observación de un detalle visto durante el cálculo de las 42 simulaciones de Monte Carlo realizadas, una por cada mes, que también será utilizada en la sección del cálculo de la volatilidad del VAN. Se ha observado que el coeficiente de variación de cada uno de los flujos por separado oscila entre el 2 % y el 12 % siendo la mayoría cercanos al 2 %. Se observa también que los valores obtenidos mediante Monte Carlo se alejan muy poco del valor estático. Como se puede comprobar son valores mucho menores por separado que el calculado anteriormente por el método de la volatilidad histórica. Para obtener la volatilidad combinada de todos los flujos por separado, admitiendo de esta manera los flujos en los que hay cambio de signo se puede utilizar el método de combinación de incertidumbres calculadas mediante el coeficiente de variación, utilizado por los científicos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático [IPCC \(2017\)](#), que fueron galardonados con el premio Nobel de la Paz en 2007, los cuales han elaborado unos extensos documentos con amplia información y en varios idiomas sobre cómo se deben calcular las emisiones de gases de efecto invernadero, con ejemplos, etcétera.

En concreto, en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero ([IPPC \*et al.\*, 2006](#)) se calculan las incertidumbres de la media mediante coeficientes de variación y se indican las ecuaciones de combinación de incertidumbres en función de si se multiplican o se suman y restan. En concreto para el caso de la cuenta de explotación en el que se suman y restan las partidas, la desviación estándar de la suma es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman con las desviaciones estándar, todas expresadas en términos

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

absolutos (esta regla es exacta para las variables no correlacionadas), de lo que se deriva la ecuación 6.4 (IPPC *et al.*, 2006):

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + (U_2 \cdot x_2)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|} \quad (6.4)$$

donde:

$U_{total}$  = el porcentaje de incertidumbre de la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95 por ciento, dividido por el total (es decir, la media) y expresado como porcentaje). Este término «incertidumbre» se basa en el intervalo de confianza del 95 por ciento.

$x_i$  y  $U_i$  = las cantidades inciertas y el porcentaje de incertidumbres asociado, respectivamente.

En los casos en los que se deben combinar las cantidades inciertas por multiplicación, la desviación estándar de la suma es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman, con las desviaciones estándar expresadas como coeficientes de variación, que son las relaciones de las desviaciones estándar con los valores medios adecuados, de lo que se deriva la ecuación 6.5 (IPPC *et al.*, 2006). Esta regla es aproximada para todas las variables aleatorias. En circunstancias típicas, esta regla tiene una exactitud razonable, mientras el coeficiente de variación sea inferior a aproximadamente 0,3.

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (6.5)$$

donde las variables tienen el mismo significado que en la fórmula 6.4.

La primera de las ecuaciones calcula el valor medio de la volatilidad ponderado y la segunda suma las incertidumbres, pero no de forma directa. En el caso de las emisiones de carbono se trata de calcular las incertidumbres de la media derivado de la incertidumbre de sumas y restas de varios emisores o absorbedores, y en el caso de la cuenta de explotación se trata de calcular la volatilidad de un proyecto compuesto por varios flujos positivos o negativos, que van añadiendo incertidumbre cuantos más existen, de manera que si se aplica la ecuación 6.5, se obtiene una volatilidad de  $\sigma_{fluinc} = 19,9\%$ . Una demostración de que es esta la fórmula adecuada, sería que en las acciones arco iris se observa también como al tener dos valores de volatilidades, los factores up y down de los árboles cuadrinomiales entran multiplicando.

Este valor de la volatilidad no será tenido en cuenta para extraer conclusiones en la Tesis.

### 6.2.5. Volatilidad del VAN mediante método de Monte Carlo

Consiste en aplicar la simulación de Monte Carlo a la cuenta de explotación que se ha elaborado y medir la volatilidad mediante el coeficiente de variación, es decir, el cociente entre la desviación estándar y la media. En la introducción de esta sección se explica el problema que tiene este método derivado de que en el caso de que la media

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

sea cercana a cero, el coeficiente de variación aumenta exageradamente al dividir por cero y no aporta por tanto un valor correcto.

Tras la simulación de 20.000 escenarios se obtienen los resultados de la tabla 6.14 del que se extrae que la media del VAN es -116.860,51 euros y la desviación estándar de 654.525,04. Por lo tanto, la volatilidad sería  $\sigma_{VAN_{pur}} = 560,09\%$  donde se aprecia el problema comentado derivado de que el VAN sea cercano a cero.

Como se ha comentado, diversos autores como Gracia (2014) o Rozo (2009) calculan la volatilidad del Valor Actual del proyecto, VA, eliminando el coste de la inversión, que en el caso estudiado en esta Tesis, incluiría también el coste de urbanización y de la gestión urbanística, que pueden considerarse costes iniciales. De esa manera consiguen manteniendo la mayor parte de los flujos, quitar solo la inversión inicial, que aunque también presentan volatilidad, es una volatilidad que termina pronto, es más, si no existiera urbanización, prácticamente al inicio.

Volviendo a hacer la simulación eliminando dichos costes, se obtienen los siguientes valores recogidos en la tabla 6.16.

En este caso la media del Valor Actual de los flujos es 1.074.928,74 euros, prácticamente el valor del VAN más los costes de urbanizar, gestión urbanística y precio del suelo, y la desviación estándar de 641.116,65 euros, un valor muy similar. Por lo tanto, la volatilidad sería  $\sigma_{VA_{sin}} = 59,64\%$  donde ya se ha eliminado el problema de dividir por un número cercano a cero.

### 6.2.6. Volatilidad por estimación del gerente

El método consiste en preguntar al gerente o a expertos si no se tiene más información, cuál cree que será el valor del VAN que se obtendrá en escenarios pesimistas, medios y optimistas. En este caso, y solo con el fin de obtenerlo de forma ilustrativa, se va a obtener a partir de los percentiles del 5%, 50% y 95% calculados con el método de Monte Carlo y que se recogían en la tabla 6.16. Se utilizan estos porcentajes en lugar del 98% y 2% por ser más conservadores. Aplicando las fórmulas 6.2 se obtiene un rango de valores para la volatilidad.

$$\sigma = \frac{\ln\left(\frac{2.209,596}{961,261}\right)}{2 \cdot \sqrt{4}} = 20.80\% \quad \sigma = \frac{\ln\left(\frac{961,261}{255,482}\right)}{2 \cdot \sqrt{4}} = 33.12\% \quad \sigma = \frac{\ln\left(\frac{2.209,596}{255,482}\right)}{4 \cdot \sqrt{4}} = 28.52\%$$

La diferencia en los valores viene derivada una vez más de dividir por un valor menor lo cual hace que aumente el valor del cociente, aunque en este caso se mitiga parcialmente al aplicar el logaritmo. El valor final será la media de los tres,  $\sigma_{expper} = 27,48\%$ . Aunque el método de preguntar al gerente no es un método recomendable, no lo es por el método en sí, sino por la fuente de los datos, pero como en este caso han sido obtenidos a través de Monte Carlo aplicado a la cuenta de explotación sí que será tenido como un buen dato.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Variable	VA (miles de €) sin inversión inicial
Número de escenarios	20.000
Media	1.074,92874
Error estándar	4,533
Mediana	961,26104
Desviación estándar	641,11665
Varianza	411.030,556
Asimetría	0,397
Curtosis	1,926
Máximo	2.788,271
Mínimo	52,571
Percentil 0.01	184,681
Percentil 0.05	255,482
Percentil 0.25	491,632
Percentil 0.50	961,261
Percentil 0.75	1.606,728
Percentil 0.95	2.209,596
Percentil 0.99	2.367,351
Percentil (VAN=0)	—

Tabla 6.16.: Parámetros obtenidos con técnica de Monte Carlo para el VA sin inversión inicial de la cuenta de explotación (Elaboración propia).

### 6.2.7. Valor escogido para la volatilidad

Tras todos los cálculos efectuados, se puede concluir que el valor de la volatilidad es, cuando menos, difícil de escoger. Tras el estudio de la bibliografía, se observa que no hay un consenso sobre cuál es el mejor método, y tampoco ninguno de ellos puede ser descartado totalmente. Es más, dada la influencia que la volatilidad tiene en los resultados finales, la prudencia aconseja tener en cuenta la información que aportan todos ellos y una manera de conseguirlo es promediar los resultados obtenidos con los diferentes métodos de estimación. De esta manera se evita sobrevalorar el proyecto escogiendo el valor más elevado de la volatilidad y viceversa.

No obstante, alguno de los métodos, como el de la serie histórica de los precios, se ha explicado que es mejor utilizarlos únicamente en el caso de que no se cuente con ningún otro, por lo que es preferible no utilizarlos para el cálculo de la media. En la tabla 6.17 se ofrecen los valores obtenidos y una indicación sobre si se ha utilizado para el cálculo o no. Las causas por las que se ha tomado la decisión sobre su utilización están expuestas en el apartado correspondiente. Es preciso recordar que no siempre se dispone de la posibilidad de obtener todos los valores, por lo que en ausencia de otros, los que no han sido utilizados podrían serlo en otra investigación.

Finalmente se calcula el valor medio de la volatilidad que resulta  $\sigma_{\text{med}} = 35,23 \%$ , valor que será utilizado en esta Tesis para el cálculo de las opciones reales que aparecen en el proyecto.

## 6.3. OPCIONES REALES EXISTENTES EN ESTE PROYECTO

En esta sección se van a calcular algunas de las opciones reales que podrían existir en este proyecto y que permitirían cambiar la decisión de inversión, que en un primer momento ha sido de no invertir, dado que el VAN obtenido era inferior a cero. En el capítulo 3 se han explicado ampliamente y en la sección 5.4 se han escrito los scripts de R que permiten su cálculo, por lo que se analizan directamente y se remite al lector a dichas secciones para la aclaración de posibles dudas. También es importante la lectura de la sección 4.6 en la que se adaptaban las opciones reales a los proyectos inmobiliarios.

El orden elegido para el análisis de las opciones reales será el mismo que el utilizado en dichas secciones por comodidad en la lectura. Los datos utilizados provienen de la cuenta de explotación anterior. Como valor de la volatilidad se tomará  $\sigma = 35,23 \%$ , como valor inicial de la inversión 1.191.789,25 euros, el tipo de interés para actualización de flujos será del 5 %, que no es el tipo de interés sin riesgo, obteniendo un valor de los flujos actualizados de 1.074.928,74 euros, lo cual da un valor del VAN de -116.860,51 euros. El tipo de interés sin riesgo será el de los bonos del Estado de España a 5 años. En la fecha de redacción de esta sección, primer trimestre de 2017 está cercano al 0,40 % mientras el Bond estadounidense a 5 años ofrece una rentabilidad del 1,80 %. La situación de crisis por la que atravesamos es la que hace que el Banco Central Europeo tenga que actuar sobre los tipos de interés y parece que la situación está mejorando.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Método	Volatilidad	Valor	Valor medio método	Utilizado
Histórica precios vivienda	$\sigma_{\text{presp}}$	4,79 %	5,42 %	No
	$\sigma_{\text{prrio}}$	6,06 %		
Histórica cotizaciones empresas inmobiliarias	$\sigma_{\text{cotlar}}$	23,51 %	25,06 %	Sí
	$\sigma_{\text{cothis}}$	24,42 %		
	$\sigma_{\text{cotmer}}$	25,12 %		
	$\sigma_{\text{cotaxi}}$	27,18 %		
Volatilidad Warrants	$\sigma_{\text{warr}}$	28,76 %	28,76 %	Sí
Volatilidad de los flujos de caja	$\sigma_{\text{fluest}}$	45,3 %	37,03 %	No
	$\sigma_{\text{flumon}}$	45,9 %		
	$\sigma_{\text{fluinc}}$	19,9 %		
Volatilidad Valor Actual flujos Monte Carlo	$\sigma_{\text{VAsin}}$	59,64 %	59,64 %	Sí
Volatilidad estimación (percentiles)	$\sigma_{\text{expper}}$	27,48 %	27,48 %	Sí
Volatilidad media	$\sigma_{\text{med}}$		35,23 %	

Tabla 6.17.: Volatilidad por diferentes métodos y valor medio. (Elaboración propia)

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Históricamente los tipos han sido más elevados, y con el fin de anticipar una probable subida gradual de tipos acercándose a los de la Reserva Federal, así como de estudiar mejor el comportamiento de las opciones reales en un escenario de tipos más común se supondrá un tipo de interés sin riesgo del 2%. No obstante, si la previsión fuera que los tipos de interés fueran a mantenerse sin cambios durante la duración del proyecto, debería utilizarse el valor actual o 0% en el caso de que fuera negativo.

### 6.3.1. Opción aplazamiento e inversión

Se ofrece a la promotora la posibilidad de posponer la inversión 4 años hasta poner en marcha la promoción, siendo los datos del proyecto los expuestos en la introducción de la sección 6.3. En este caso el valor de la opción de aplazamiento puede ser obtenido mediante fórmulas cerradas como por ejemplo con la fórmula cerrada de Black - Scholes o de Barone - Adesi en función de si se trata de opciones europeas o americanas, que aparecen en el script B.2, con los parámetros precio del subyacente  $S = 1.074.928,74$  euros, precio de ejercicio  $X = 1.191.789,25$  euros, duración  $t = 4$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35.23\%$  y tipo de opción tipo = c, obteniendo un valor de 287.035,30 euros. También se pueden obtener con el script del árbol general B.4 recordando que es una opción *call*, obteniendo 285.812,52 euros. Las diferencias son debidas a que como es sabido la fórmula cerrada es más precisa, mientras que el valor del árbol tiende al de la fórmula cerrada si se aumenta el número de pasos. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 6.23.

El árbol 2 que se obtiene con el script, el cual ofrece directamente el valor de la opción de aplazamiento, se ofrece en la figura 6.24.

Cuando el valor de alguno de los valores del árbol es cero, significa que la opción de invertir no aporta valor y no se ejecuta la opción. En el resto de las casillas para saber si se invierte o no, sería necesario comprobar si su valor proviene de restarle al valor correspondiente del árbol 1, el precio de ejercicio en cuyo caso significaría que sí se ha ejecutado, por lo que el método del árbol binomial aporta más información que el de las fórmulas cerradas. El análisis se ofrece en la figura 6.25.

Las conclusiones que se obtienen es que partiendo de un proyecto cuyo VAN es negativo y debería ser descartado, aplicando la ecuación 2.10:

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 285.812,52 = 168.952,01$$

cuyo valor ya es positivo y se concluye que no se debe descartar el proyecto, ya que habrá escenarios beneficiosos de inversión, dependiendo de la evolución del mercado inmobiliario. Se observa que es mejor esperar mientras el mercado está evolucionando de manera favorable. Por supuesto, y como se ha comentado en secciones anteriores, esta decisión de esperar hasta el final podría verse alterada antes por factores externos y

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

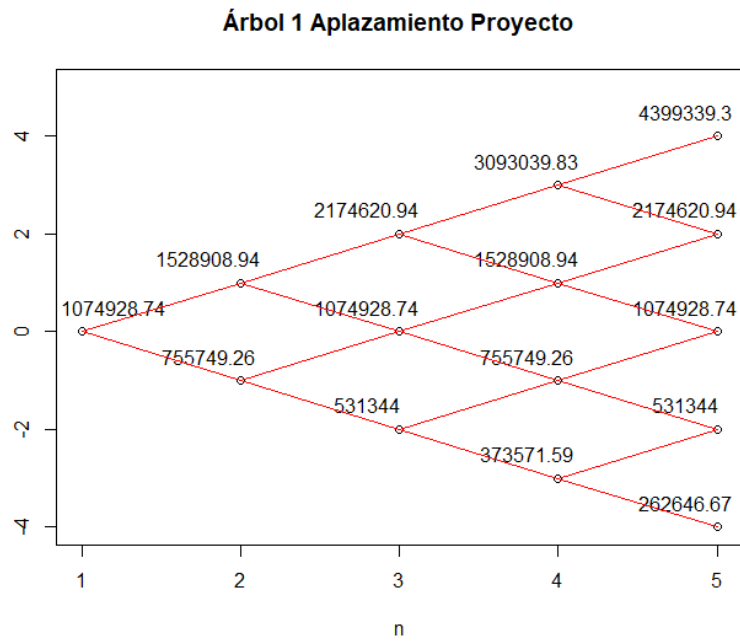


Figura 6.23.: Árbol 1 de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia).

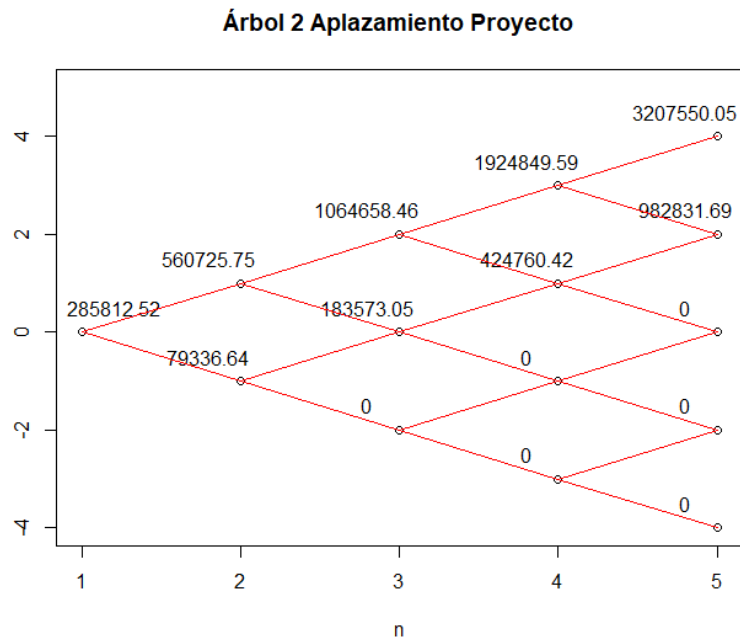


Figura 6.24.: Árbol 2 de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia).



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

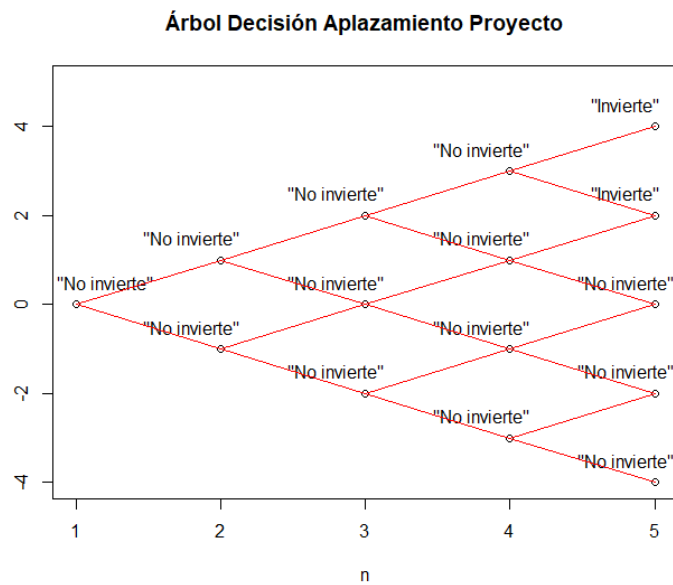


Figura 6.25.: Árbol con decisión de inversión o aplazamiento de la opción aplazamiento del proyecto (Elaboración propia).

no controlados, como por citar un ejemplo, una posible actuación de la competencia en el mismo lugar.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4 donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de aplazamiento incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. Este valor no coincide con el valor obtenido anteriormente por varias razones, como que influye el valor de  $\mu$  elegido o porque con este método se valora si la opción es o no ejercida mientras que anteriormente se sumaba el valor de la opción independientemente de si era o no ejercida. Además, se permite cambiar el valor de  $\mu$  sin cumplir obligatoriamente la relación indicada en la ecuación 3.4.

Es decir, se trata de, con el modelo Lognormal que se ha planteado, calcular cuantas veces se ejercerá la opción y dependiendo de en qué momento del tiempo se ejerce, cuánto será el valor que se obtendrá. En este caso es posible simular cuál será la evolución del precio del subyacente y utilizar el árbol binomial para saber si se ejerce o no la opción.

El parámetro  $\mu$  escogido se ha obtenido de la serie de los precios de la vivienda, siendo  $\mu = 0,0385686$ . Este valor no cumple la ecuación 3.4 ya que el valor obtenido con dicha ecuación, siendo  $r = 1,02$  y  $\sigma = 0,04791$ , sería de  $\mu = 0,018654926$ . También podrían ser planteados otros valores de  $\mu$ . Por ejemplo, si los precios de vivienda utilizados fueran solo los de los últimos años, el valor de  $\mu = -0,041$ , es decir, negativo debido a la tendencia a la baja de los precios de la vivienda. En el contexto actual en el que parece que comienzan a recuperarse no parece adecuado utilizar este valor. También podrían haberse hecho planteamientos utilizando la volatilidad finalmente escogida, pero el resultado

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número inversiones	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	398 / 1000 = 39,8 %	285.812,52
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	229 / 1000 = 22,9 %	151.325,6
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	351 / 1000 = 35,1 %	260.579,2
Cálculo con cotización de socimis	0,09	532 / 1000 = 53,2 %	564.834,5
Valor $\mu = 0$	0,00	289 / 1000 = 28,9 %	213.586,7

Tabla 6.18.: Resultados opción aplazamiento e inversión en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

no sería correcto porque se estarían mezclando conceptos diferentes. Por último, otro método, que no se considera adecuado ya que se cuenta con mejor información con la serie de precios de la vivienda, sería obtenerlo a partir de las cotizaciones de las Socimis, y en ese caso el valor obtenido estaría en torno al elegido, aunque también se alcanzarían valores cercanos a 0,09, dependiendo de la Socimi elegida.

El hecho de poder variar el valor de  $\mu$  da una gran libertad en el cálculo de simulaciones y para tomar decisiones con escenarios en los que el precio se comporte de formas diferentes que lo hecho hasta el momento actual.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo han sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.18. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

El análisis de todos estos valores es que independientemente de la evolución de los precios si se cuenta con la opción de aplazamiento o inversión se obtendrán resultados positivos, aunque se debería restar el precio de la opción para saber cuál sería el rendimiento.

### 6.3.2. Opción expansión

Se ofrece a la promotora la posibilidad de ampliar la inversión un 50 %, comprando dos parcelas, la 1.1 y la 1.2, que están situadas contiguas a la parcela 2 que se recuerda es sobre la que trata este ejemplo, y que se pueden ver gráficamente en la figura 6.5, siendo los datos del proyecto los expuestos en la introducción de la sección 6.3. Dado que la parcela 2 estaba diseñada con dos núcleos de escaleras, la división en dos es muy sencilla y no va a ser necesario estudiar otra vez el proyecto arquitectónico, suponiendo que la ampliación de las dos parcelas corresponde con un 50 % del proyecto original. En realidad esto no va a ser exactamente así, ya que hay elementos del proyecto que no se pueden dividir, como la rampa de garaje, que hará que el rendimiento sea ligeramente menor en sótano y en planta baja, u otras ventajas que harán que el rendimiento sea

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

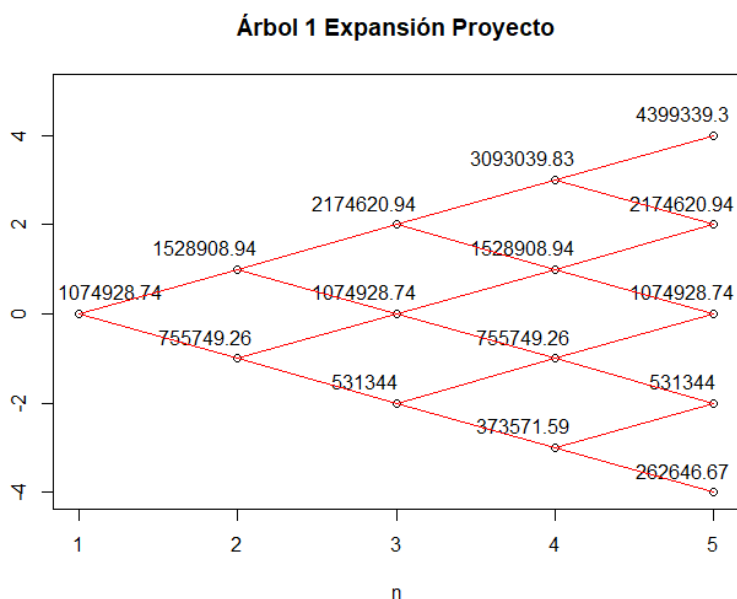


Figura 6.26.: Árbol 1 de la opción expansión (Elaboración propia).

mayor como más rapidez en las ventas, lo cual disminuirá costes. El porcentaje se obtiene del cociente entre los flujos actualizados sin contar inversión inicial que se obtengan del nuevo proyecto y los flujos actualizados del proyecto original. Pero por sencillez y por no alejarse mucho del objetivo de la Tesis se va a suponer que corresponde con el 50 %, pero el procedimiento es el mismo sea el porcentaje que sea.

Los parámetros para el script de expansión que aparece en la sección B.4.1 son precio del subyacente el del proyecto original  $S = 1.074.928,74$  euros, el precio de expansión se va a considerar el 55 % del precio de la inversión para el proyecto original, ya que se va a suponer que el vendedor de las parcelas exige mayor precio que el contemplado en la primera parcela, siendo por tanto  $X = 1.191.789,25 \cdot 0,55 = 655.484,09$  euros, si la posibilidad de la inversión son  $t = 4$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$ , tipo de opción tipo = c y factor de expansión 0,5.

En primer lugar se calcula el árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto original, el cual se muestra en la figura 6.26.

El árbol 2 que compara el valor del proyecto sin cambios, con el valor del proyecto si se hace el cambio, es decir 150 % del valor del árbol 1 menos el valor de compra se muestra en la figura 6.27.

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar en qué nodos se produce la expansión. Para ello sería necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la expansión y compararlo con el valor correspondiente de los valores del árbol 2, y si coincide significa que en ese momento se ha producido la expansión. El análisis se ofrece en la figura 6.28.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

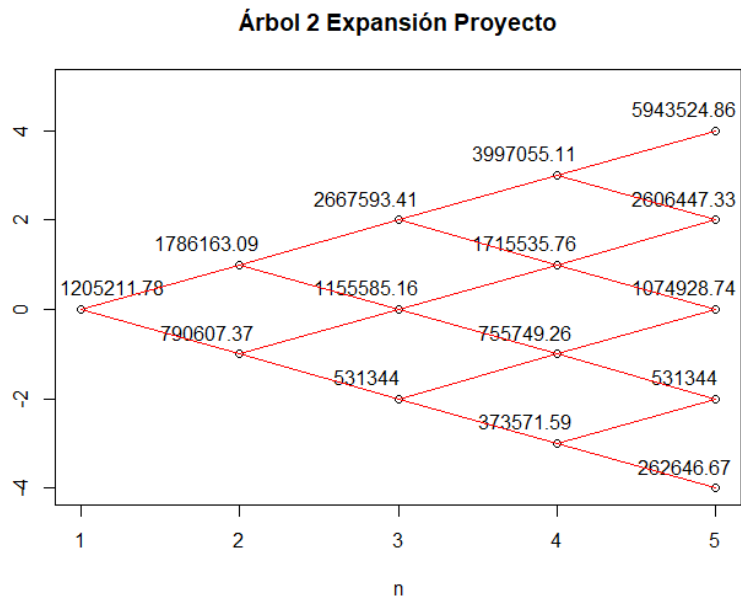


Figura 6.27.: Árbol 2 de la opción expansión (Elaboración propia).

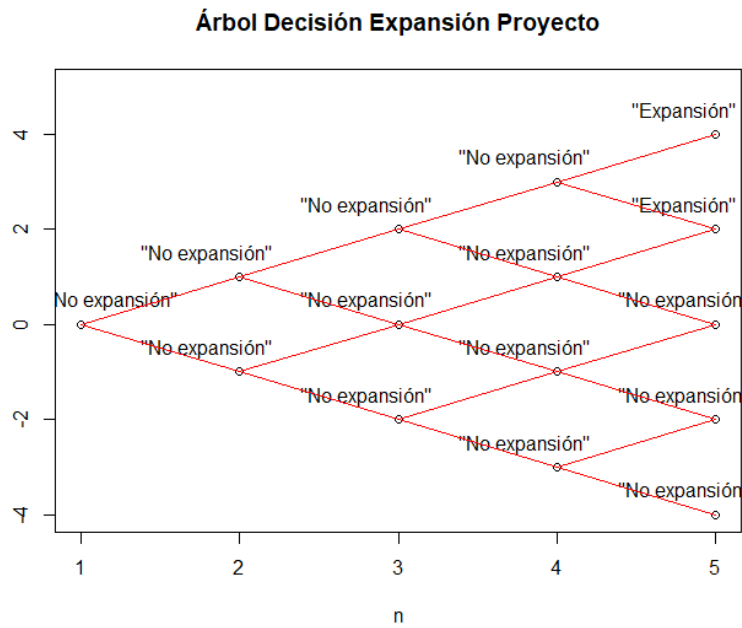


Figura 6.28.: Árbol con decisión de expansión de la opción expansión del proyecto (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Como se ha explicado en la sección 5.3.4 existen dos visiones diferentes de valorar este tipo de opciones, pero como se ha dicho, el método que se va a seguir en esta Tesis es el de Mascareñas *et al.* (2003), Damodaran (2007) y Kodukula y Papudesu (2006) donde el valor de la opción se obtiene de la resta del número obtenido del árbol 1 al del árbol 2, siendo en este caso el valor de la opción de expansión el que se obtiene del siguiente cálculo:  $1.205.211,78 - 1.074.928,74 = 130.283,04$  euros.

Si se aplica para el cálculo de la opción el script que aparece en la sección B.2, que realiza el cálculo mediante fórmulas cerradas de Black - Scholes, con los siguientes datos: precio de subyacente 1.074.928,74 euros, precio de ejercicio 1.191.789,25 euros, duración 4 años, tipo de interés sin riesgo 0,02, y volatilidad 0,3523; se obtiene el resultado para la opción *call* 125.636,70 euros. Las diferencias son debidas a que como es sabido la fórmula cerrada es más precisa, mientras que el valor del árbol tiende al de la fórmula cerrada si se aumenta el número de pasos.

Para obtener el valor del proyecto con el VAN ampliado se utiliza la ecuación 2.10:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = VAN_{\text{básico}} + VA_{\text{opciones reales}}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = -116.860,51 + 125.636,70 = 8.776,19$$

cuyo valor ya es positivo aunque no mucho mayor que cero, por lo que la conclusión sobre si se debe descartar o aprobar el proyecto será tomada en función de la política de cada empresa. La razón de que no haya aumentado mucho más se debe a que las restricciones impuestas han sido duras, como solo un aumento del 50 % de la inversión y a mayor coste que el proyecto inicial, por lo que realmente el proyecto que se ofrecía para ampliar, por separado y sin opciones reales, todavía era peor que el que se tenía de partida y además no se tenía la opción de aplazamiento.

Se concluye que la opción de ampliación es buena, pero que sería mejor tratar de negociar el coste de la inversión inicial. La empresa también debe asegurarse de que es exclusiva, ya que podría darse el caso de que la competencia comenzara a construir en cualquiera de las otras parcelas del Plan Parcial, por lo que entonces la opción de expansión perdería valor.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4 donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de expansión incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección 6.3.1 se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo cuáles son los valores de  $\mu$  que se van a utilizar. La variación en este script es que se calcula el precio del subyacente obtenido si no se expande, y si se expande, se aporta el precio del subyacente más el incremento de subyacente dado por la fórmula de expansión menos el coste de expandir, por lo que habrá que restar el precio de la inversión inicial en todo caso.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo han sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.19. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número expansiones	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	307 / 1000 = 30,7 %	70.959,01
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	216 / 1000 = 21,6 %	-216.214,75
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	313 / 1000 = 31,3 %	-18.272,98
Cálculo con cotización de socimis	0,09	451 / 1000 = 53,2 %	435.857,41
Valor $\mu = 0$	0,00	252 / 1000 = 25,2 %	-159.016,85

Tabla 6.19.: Resultados opción expansión en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

El análisis de todos estos valores es que la opción de expansión por sí sola no es suficiente para conseguir que el VAN sea positivo, lo cual tiene lógica porque hay que recordar que el VAN del proyecto sin expandir se añade en cualquier caso. También se ha indicado que las condiciones para la expansión son bastante restrictivas, por lo que es normal entonces que se necesite una muy buena evolución de los precios de la vivienda para que se obtengan resultados positivos.

### 6.3.3. Opción abandono o reducción

Las opciones de abandono permiten al poseedor tener la opción de vender el proyecto por un determinado valor. Pero en un proyecto inmobiliario como el que se está tratando en esta Tesis, resulta muy difícil pensar, y la experiencia así lo avala, que una vez comenzada la obra y las ventas, pueda venir otra empresa a comprar el proyecto y terminar con las obras. Lo más lógico en ese caso es que la obra se quedara parada y abandonada como las innumerables que jalonan España tras la crisis inmobiliaria. Por lo tanto, plantear esta opción con garantías de éxito solo tiene sentido hasta que se inicie la obra o las primeras etapas de ella, ya que lo más lógico, sería abandonar el proyecto antes del inicio de las ventas, porque una vez iniciada la obra tiene más sentido plantear una opción del tipo reducción como se verá tras el análisis de la opción de abandono.

En este caso se va a suponer un escenario en el que la competencia es propietaria de otras parcelas en el mismo Plan Parcial y por razones estratégicas, como tratar de eliminar a otros competidores, está muy interesada en la compra de la parcela por lo que lanza una propuesta de compra vinculante por la parcela objeto de esta Tesis por espacio de dos años siempre que no hayan comenzado las obras. El gerente comprueba en la cuenta de explotación analizada en la sección 6.1.2 que la construcción no comienza teóricamente hasta los 18 meses, por lo que es posible lanzar el proyecto para ver cómo funcionan las ventas y en el caso de que no funcionen abandonar el proyecto. El precio de compra ofertado por la competencia es de 1.300.000,00 euros, superior a la inversión inicial que se hizo por la parcela y que fue de 1.191.789,25 euros. Pero aunque en una

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

opción de abandono tipo, el precio de venta sería el que se escogería como precio de ejercicio, para valorar bien la opción de abandono del ejemplo planteado se debería restar al precio de venta el coste de los proyectos, de publicidad, etcétera, que se tendrán durante esos dos años.

Con estas premisas, el cálculo se convierte en extremadamente complejo ya que, al tratarse de una opción americana, el coste incurrido es variable en función del tiempo, es decir, si se vendiera en el primer mes, no habría prácticamente costes de proyectos, pero si se vendiera al final serían completos. Para poder hacer un cálculo sencillo se va a suponer un valor de costes incurridos por el hecho de mantener la opción de abandono y será el gerente el que determine el valor correcto para su proyecto particular. En este caso se va a suponer que los costes incurridos son de 180.325,00 euros obtenidos de forma arbitraria a partir de la cuenta de explotación, pero basada en los costes de los proyectos y del marketing, siendo por tanto el precio de venta que se va a contemplar 1.119.675,00 menor al coste de inversión inicial.

Entrando ya en el cálculo se trata de una opción *put* con precio de ejercicio el dinero que se obtiene de la venta del proyecto y subyacente los flujos de caja obtenidos si se continúa con él. El valor del subyacente por lo tanto será de 1.074.928,74 euros si continúa con el proyecto, el precio de ejercicio 1.119.675,00 euros en los próximos 2 años. El valor de la volatilidad es de 0,3523 y el del tipo de interés 0,02. Los parámetros para el script de abandono que aparece en la sección B.4.2 son, precio del subyacente del proyecto original  $S = 1.074.928,74$  euros, el precio de venta, según lo expuesto en los párrafos anteriores será  $X = 1.119.675,00$  euros, con tiempo para venderlo de  $t = 2$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = p. En la figura 6.29 se observa el árbol 1.

El árbol 2 compara el valor de los flujos de caja del proyecto frente al valor de rescate, lo cual se hace con el script B.4.2. Esto hace que el árbol 2 que se obtiene aporte información adicional frente al del cálculo de la opción estándar que solo da el valor de la opción. En la figura 6.30 se ven los valores obtenidos.

El resultado que se obtiene, 1.284.964,59 euros, es el valor del proyecto más el valor de la opción de abandono, por lo que para obtener el valor de la opción será preciso restar el valor del proyecto sin flexibilidad, en este caso, 1.074.928,74 euros. Se obtiene un valor para la opción de 210.035,85 euros, es decir, el mismo que con el script estándar, pero en este árbol se ve en cada nodo el máximo entre el valor del proyecto y la opción de abandono, de manera que si se observa que coinciden con el valor de abandono, 1.119.675,00 euros, se puede afirmar que en ese nodo se ha producido el abandono del proyecto. El análisis se ofrece en la figura 6.31.

Como se puede comprobar se produce el abandono en la mayor parte de las ocasiones y eso es debido al alto precio que está dispuesta a pagar la competencia y a que el VAN de partida era ya negativo.

Para obtener el valor del proyecto con el VAN ampliado se utiliza la ecuación 2.10.

$$VAN_{\text{ampliado total}} = VAN_{\text{básico}} + VA_{\text{opciones reales}}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

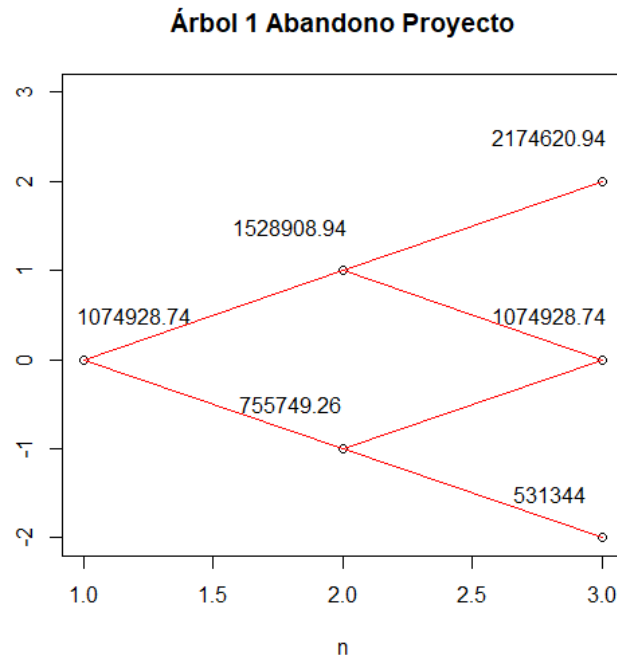


Figura 6.29.: Árbol 1 para opción de abandono (Elaboración propia).

$$VAN_{\text{ampliado total}} = -116.860,51 + 210.035,85 = 93.175,34$$

cuyo valor ya es positivo.

En este caso el valor de la opción de abandono puede ser obtenido con los scripts de la fórmula cerrada de Black - Scholes o Barone - Adesi Whaley, recogidos en el script de la sección B.2 y el del árbol general en la sección B.4, obteniendo un valor de 211.972,50 y 217.132,20 euros respectivamente. Es mayor el segundo valor porque tiene en cuenta que son americanas. El hecho de que el valor sea mayor se debe a su mayor exactitud y los pocos nodos utilizados en el árbol.

La opción de poder abandonar el proyecto en este caso es muy valiosa, ya que permite conocer la evolución de la demanda y de los precios durante dos años, aunque esto no significa que esté exento de riesgos porque todavía puede evolucionar el proyecto de forma negativa en los años siguientes y viceversa, puede ser que se abandone y el resto de los años sean todos positivos. Lamentablemente en el mundo inmobiliario no es usual tener opciones reales de abandono.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4 donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de abandono incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección 6.3.1 se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo cuáles son los valores de  $\mu$  que



6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

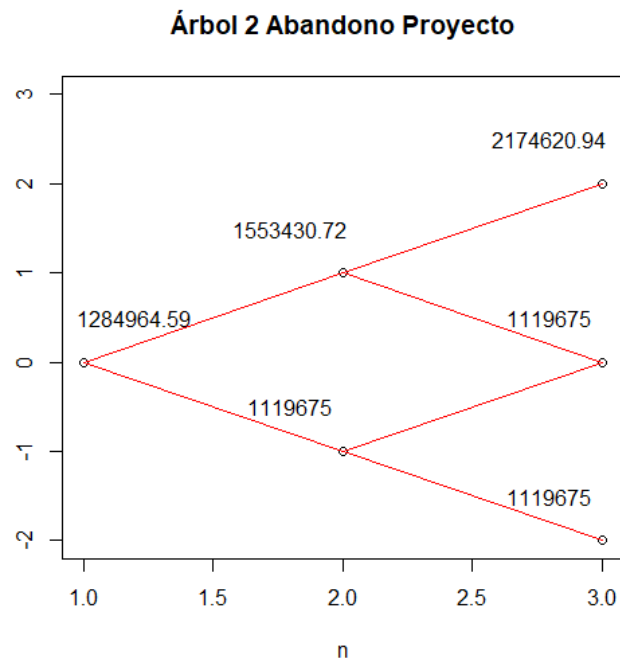


Figura 6.30.: Árbol 2 para opción de abandono (Elaboración propia).

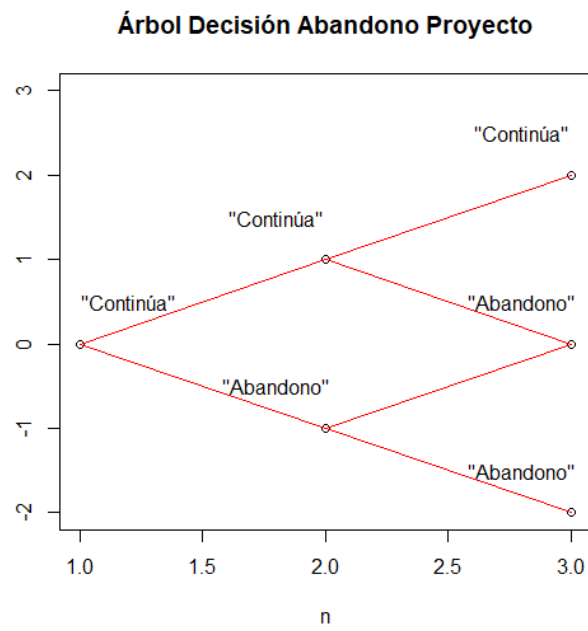


Figura 6.31.: Árbol con decisión de abandono de la opción abandono del proyecto (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número abandonos	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	570 / 1000 = 57,0 %	120.923,13
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	692 / 1000 = 69,2 %	12.346,27
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	588 / 1000 = 58,8 %	78.711,99
Cálculo con cotización de socimis	0,09	497 / 1000 = 49,7 %	197.452,24
Valor $\mu = 0$	0,00	646 / 1000 = 64,6 %	44.057,85

Tabla 6.20.: Resultados opción abandono en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

se van a utilizar. La variación en este script es que se calcula el precio del subyacente obtenido si no se abandona, y si se abandona, se aporta el precio de venta.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo ha sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.20. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

El análisis de todos estos valores es que la opción de abandono hace que el VAN no sea negativo y que cuanto peor es la evolución de precios, mayor es el número de abandonos, pero el VAN, aunque empeora se mantiene positivo. Esto no ocurriría, por supuesto, si no existiera la opción de abandono. Por otra parte, cuanto mejor es la evolución de precios, menor es el número de abandonos y mayor el VAN.

También se observa que el número de abandonos es muy alto, y eso es debido a las buenas condiciones para abandonar que se tienen en el proyecto, las cuales no son tan fáciles de encontrar en la práctica.

Con las opciones de reducción ocurre algo similar ya que realmente consisten en vender parte del proyecto, que no se debe confundir con otra actuación que es usual en el mundo inmobiliario consistente en parar la construcción de parte de la promoción. En realidad sería aplicar la opción de aplazamiento a parte del proyecto, ya que el terreno sigue siendo propiedad del promotor. Sí que son aplicables al caso de un gran Plan Parcial con muchas parcelas para construir, de las cuales se deciden vender parte. También son fácilmente aplicables a proyectos de viviendas unifamiliares.

No obstante, y por seguir con el análisis del proyecto estudiado en esta Tesis, se puede plantear una opción de reducción que consiste en vender la mitad de la parcela a otro promotor, ya que esto sí que sería posible creando dos parcelas totalmente funcionales de forma individual. Es trasladable a otros desarrollos siempre que la división sea por portales completos, pero teniendo en cuenta que el sótano o sótanos deben tener su rampa y comunicaciones entre ellos y también tienen que estar ejecutadas las posibles instalaciones comunes como equipos de bombeo, de placas solares o calefacción central, etcétera. Esto quiere decir que en este tipo de reducciones dentro de la misma parcela en la mayor parte de las ocasiones que se reduce, se reducen siempre más los ingresos

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

que los gastos, pero esto no significa que no sean interesantes. En momentos de boom inmobiliario pueden parecer no convenientes, pero en momentos en los que la demanda es muy pequeña, o la financiación muy complicada, pueden ser muy valiosas.

En este caso se va a suponer que se va a reducir el proyecto un 50 %, ya que como se explicó en este capítulo, consta originalmente de dos portales prácticamente idénticos, con pequeñas variaciones en las plantas bajas por la situación de los locales comerciales. La ubicación de la rampa de garaje no afectaría tanto en este caso ya que sería exterior porque se puede poner en el espacio libre privado. Se va a suponer que se ha conseguido un precio aceptable de venta por la parcela, en concreto el 60 % de la inversión inicial en lugar del 50 %, ya que aunque la posibilidad de obtener liquidez inmediata es muy apetecible, el hecho de traer a competidores justo al lado de la promoción que se va a poner en marcha no se puede considerar como buena estrategia. Además, como se ha comentado, la empresa antes de vender siempre cuenta con la opción de aplazamiento por el 50 % de la parcela en lugar de venderla, por lo que el precio exigido tiene que ser alto. El comprador de la subparcela está dispuesto a pagar por lo tanto  $1.191.789,25 \times 0,60 = 715.073,55$  euros. Se va a suponer que el comprador mantendría su oferta durante 3 años, ya que a él también le interesa que el proyecto comience a desarrollarse y se eliminen incertidumbres e incluso considera que puede revalorizarse la zona al empezar a vender otro promotor y comenzar a llegar nuevas familias al nuevo barrio.

Los parámetros para el script de reducción que aparece en la sección B.4.3 son precio del subyacente los flujos del proyecto original  $S = 1.074.928,74$  euros, y el precio de rescate  $X = 715.073,55$  euros, si la posibilidad de la inversión son  $t = 3$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = p, y factor de reducción 0,5.

En primer lugar se calcula el árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto original, el cual se muestra en la figura 6.32.

El árbol 2 que compara el valor del proyecto sin cambios, con el valor del proyecto si se hace el cambio, es decir 50 % del valor del árbol 1 más el valor de compra, se muestra en la figura 6.33.

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar en qué nodos se produce la reducción. Para ello sería necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la reducción y compararlo con el valor correspondiente de los valores del árbol 2 y si coincide significa que en ese momento se ha producido la reducción. El análisis se ofrece en la figura 6.34.

El valor de la opción reducción es 228.557,69 euros, es decir, la diferencia entre el valor inicial del árbol 2 y el del árbol 1. Para obtener el valor del proyecto con el VAN ampliado se utiliza la ecuación 2.10:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = VAN_{\text{básico}} + VA_{\text{opciones reales}}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = -116.860,51 + 228.557,69 = 111.697,18$$

cuyo valor ya es positivo.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

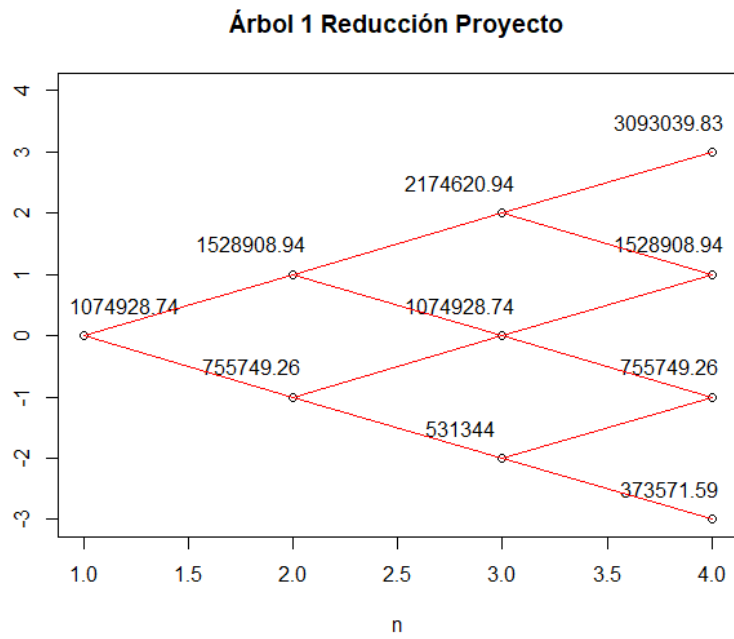


Figura 6.32.: Árbol 1 de la opción reducción (Elaboración propia).

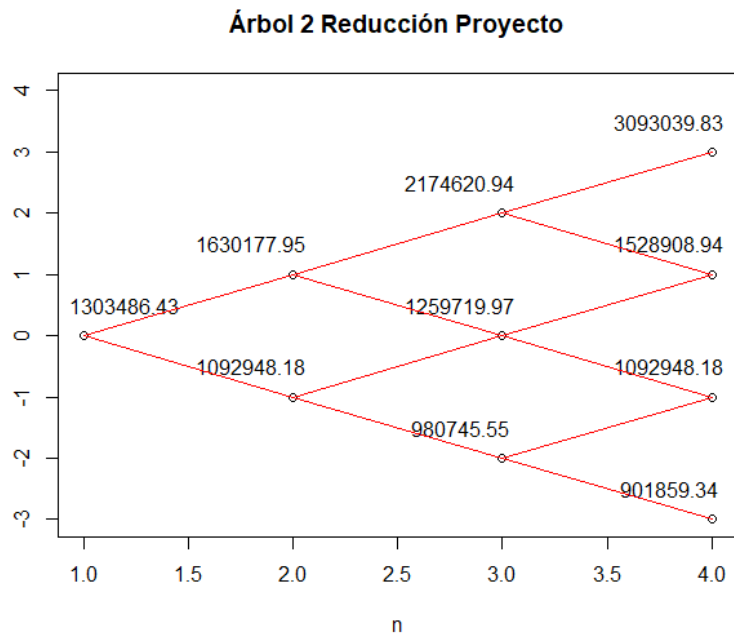


Figura 6.33.: Árbol 2 de la opción reducción (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

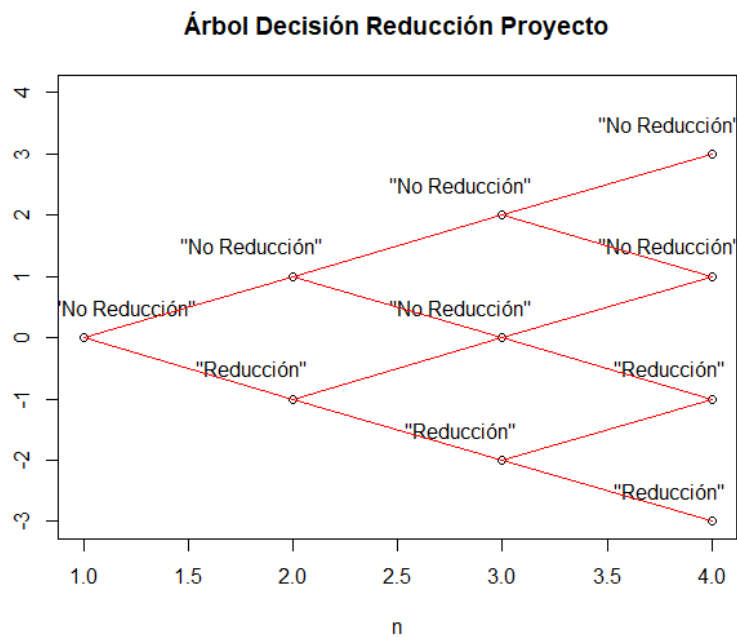


Figura 6.34.: Árbol con decisión de reducción de la opción reducción del proyecto. (Elaboración propia).

En este caso el valor de la opción reducción puede ser obtenido con los scripts de la fórmula cerrada de Black - Scholes o Barone - Adesi Whaley, recogidos en el script [B.2](#) y en el script del árbol general [B.4](#), con valor del subyacente  $S$  igual al valor de los flujos que se venden, es decir, la mitad de los flujos originales obteniendo un valor de 222.566,00 y 231.901,90 euros respectivamente. Es mayor el segundo valor porque tiene en cuenta que son americanas. El hecho de que el valor sea mayor que con los árboles binomiales se debe a su mayor exactitud y los pocos nodos utilizados en el árbol.

Las conclusiones alcanzadas son similares a las obtenidas para la opción de abandono, ya que esta no deja de ser una opción de reducción en la que el porcentaje de reducción es del 100%. Se aprecia una vez más que la presencia de opciones reales incrementa el valor del VAN.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección [5.3.4](#) donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de reducción incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección [6.3.1](#) se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo cuales son los valores de  $\mu$  que se van a utilizar. La variación en este script es que se calcula el precio del subyacente obtenido si no se reduce, y si se reduce, se aporta el precio de venta.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo ha sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla [6.21](#). Los

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número reducciones	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	743 / 1000 = 74,3 %	137.474,61
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	872 / 1000 = 87,2 %	-52.066,51
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	797 / 1000 = 79,7 %	86.277,31
Cálculo con cotización de socimis	0,09	647 / 1000 = 64,7 %	305.524,17
Valor $\mu = 0$	0,00	812 / 1000 = 81,2 %	37.630,88

Tabla 6.21.: Resultados opción reducción en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

Del análisis de todos estos valores se desprende que la opción de reducción hace que el VAN mejore de forma importante, y que incluso solo es negativo cuando los precios evolucionan muy desfavorablemente, también debido a que las condiciones de reducción son muy buenas. Esto último también provoca que el número de reducciones sea muy alto.

### 6.3.4. Operativas y flexibilidad tecnológica

Como se comentaba en la sección 4.6, las opciones operativas y de flexibilidad tecnológica son más difíciles de adaptar al mundo inmobiliario que en empresas productivas industriales. De las dos alternativas que allí se planteaban, cambios en las instalaciones del edificio previstas en el proyecto debidas a cambios en la tecnología durante el proceso de desarrollo de la promoción o por cambios en los gustos de los consumidores, o dar la posibilidad de permitir al cliente cambiar la distribución de su vivienda o de las calidades, pero no con pequeños cambios sino dejando una gran libertad utilizando aplicaciones informáticas de fácil manejo, se va a escoger la primera, ya que para la segunda se necesita que el edificio esté diseñado de manera que pueda hacerse y se va a suponer que el edificio es un edificio con diseño estándar.

Pero sí que es posible aplicar las opciones del primer tipo con el cambio de la tecnología del edificio relacionada con el medio ambiente, suponiendo que, como así está ocurriendo, se crean cambios en los gustos de los consumidores, y aparece una preferencia por la calificación energética A. Se debe recordar que el edificio se había planteado con calificación energética C, que aunque es una calificación aceptable, no estaría a la altura de la nueva demanda de los clientes de la promoción.

Conseguir calificación energética A no es sencillo, y se debe recurrir a fuentes de energía renovables, aunque tampoco son garantía de obtenerla. Para ello se barajan varias alternativas que son conocidas porque sirven para aumentar la calificación energética. Por ejemplo, se decide el cambio de calderas individuales de gas natural, a caldera de ca-

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

calefacción central con biomasa y apoyo si fuera necesario de gas natural. Se aumentará en un 30 % el porcentaje de demanda de Agua Caliente Sanitaria cubierta por placas solares. Se aumentarán al doble los aislamientos térmicos de las paredes. Se ha valorado, pero no se va a implementar la instalación de aerotermia, ya que no funciona correctamente en climas muy fríos, y este es el caso de la localidad en la que se encuentra la promoción, Santo Domingo de la Calzada. Tampoco se instalará calefacción del tipo suelo radiante, por su alto coste. Se instalarán máquinas de aire acondicionado con alto rendimiento. Se ha valorado, pero no se realizarán cambios en el diseño del edificio con la incorporación de elementos decorativos que protejan del sol, ya que la orientación del edificio con la mayor parte de las fachadas con orientación Este - Oeste y el clima de la localidad hacen más necesario el calentamiento que el enfriamiento de las fachadas.

La implementación de todos estos cambios supone un incremento en los costes, pero también un incremento en el precio de venta ya que el mercado lo demanda, y lo que es peor, en el caso de no instalarlo puede hacer que no se consiga vender el edificio.

Por lo tanto, planteando ya el cálculo de la opción en realidad se trata de valorar la posibilidad de cambiar entre dos proyectos, uno con calificación energética C y otro con A. Lo que se debe hacer en primer lugar es calcular dos árboles binomiales del tipo 1, uno para cada proyecto alternativo utilizando el script de la sección B.4.4 con los datos que se explican a continuación. Para el primer proyecto, calificación C, serían los ya conocidos de unos flujos de caja esperados de  $S_1 = 1.074.928,74$  euros, con una volatilidad<sup>1</sup> de 0,3523 y un tipo de interés sin riesgo de 0,02. Para el segundo, calificación A, deberían hacerse los cálculos detalladamente, es decir, con los nuevos flujos mes a mes, pero en esta Tesis se van a utilizar estimaciones basadas en ratios y la experiencia, y se ha estimado que los flujos de caja aumentarían en 4.200,00 euros por vivienda, es decir, 201.600,00 euros, lo que implica que  $S_2 = 1.074.928,74 + 201.600,00 = 1.276.528,74$  euros y una volatilidad también mayor, de 0,45 ya que se considera que aumenta la incertidumbre al ser, el aumento de precios, una apuesta arriesgada. El coste de cambiar entre los dos proyectos es de 4.700,00 euros por vivienda, ligeramente mayor que el beneficio obtenido por la venta, ya que se considera que no es posible trasladar completamente los costes al precio, por lo que  $X = 225.600,00$  euros. El número de años durante el cual se permitirá realizar el cambio, por razones operativas de la obra, será  $t = 4$  años.

Aunque podría no parecer interesante el cambio porque parecen mayores los gastos que el incremento de flujos de caja, el aumento de volatilidad y la posibilidad de perder algún cliente por no satisfacer las necesidades de la demanda hace necesario el análisis. Los dos árboles tipo 1 serán los de las figuras 6.35 y 6.36.

El árbol 2 que muestra la valoración de proyecto y la comparación que hace entre cambiar al segundo proyecto o mantenerse en el primero se muestra en la figura 6.37.

El árbol 2 ofrece el valor del primer proyecto al que se le añade el valor de la opción, por lo que para obtener el valor de la opción se deberá restar del valor del árbol 1, obteniendo un valor de 117.340,65 euros. De la comparación del árbol 2 con el árbol 1 del primer proyecto se deduce en qué momentos temporales es aconsejable el cambio, ocurriendo en aquellos en que los valores son diferentes. Se ofrece en la figura 6.38.

Para obtener el valor del proyecto con el VAN ampliado se utiliza la ecuación 2.10.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

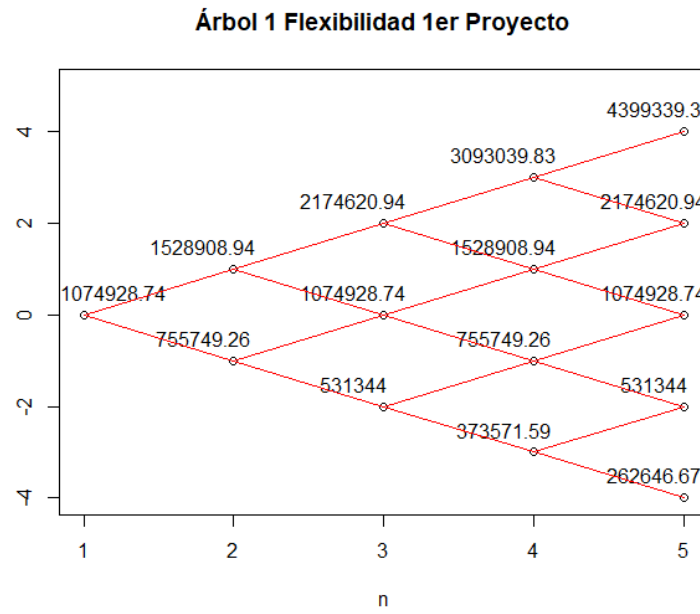


Figura 6.35.: Árbol 1 del primer proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia).

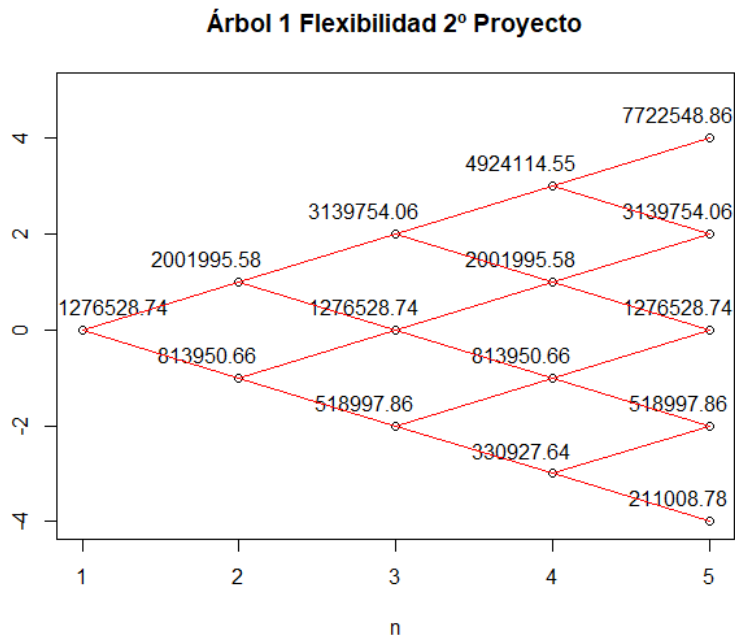


Figura 6.36.: Árbol 1 del segundo proyecto de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia).



6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

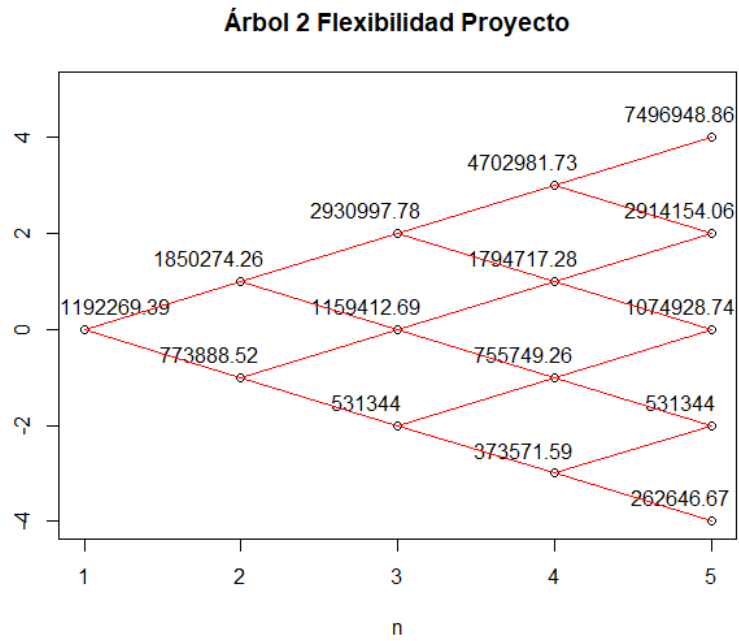


Figura 6.37.: Árbol 2 de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia).

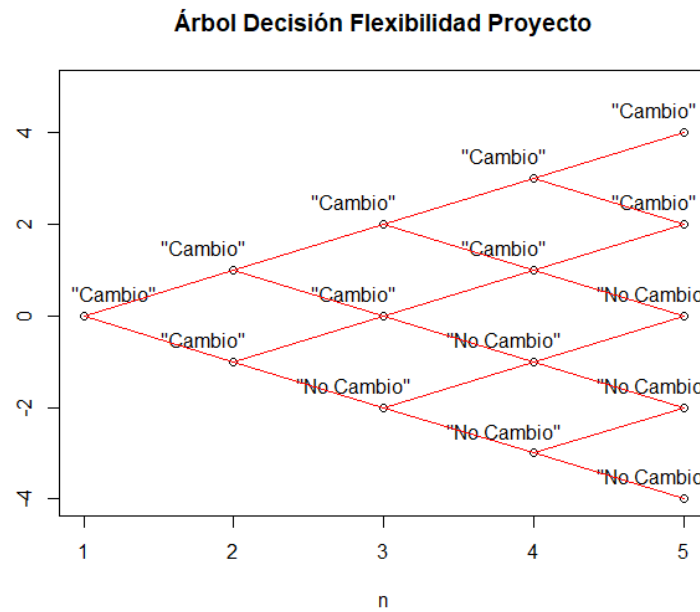


Figura 6.38.: Árbol con decisión de la opción flexibilidad tecnológica (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 117.340,65 = 480,14$$

cuyo valor ha dejado de ser negativo a ser prácticamente cero.

Por lo tanto, sí que tiene valor la opción de cambio, y esto es debido a que pese a que los costes de cambio son altos, la mayor volatilidad del segundo proyecto hace que aumente la probabilidad de tener beneficios. Pese a su valor, en ausencia de otras opciones o de otros condicionantes no sería aconsejable realizar el proyecto, ya que no solo el VAN es cercano a cero, sino que el valor obtenido de la opción está muy condicionado al valor de la volatilidad que se asigna al segundo proyecto. Si el valor escogido hubiera sido menor, el VAN habría seguido siendo negativo y si hubiera sido mayor, habría mejorado considerablemente. Pero el valor del VAN se escoge de forma que no permite estar seguro de los resultados.

Independientemente del resultado obtenido en el ejemplo de esta Tesis, en general sí que resultan aconsejables este tipo de opciones, ya que dependiendo de los datos de cada caso pueden aportar más valor.

En este caso el valor de la opción de flexibilidad tecnológica no puede ser obtenido con los scripts de fórmulas cerradas y se demuestra la flexibilidad de los árboles binomiales.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4 donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de flexibilidad tecnológica incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección 6.3.1 se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo, cuáles son los valores de  $\mu$  que se van a utilizar. La variación en este script es que se calcula el precio del subyacente obtenido si no se cambia, y si se cambia, se aporta el valor obtenido. También el script permite utilizar diferentes valores de  $\mu$  para los dos proyectos que se analizan, en primer lugar se va a hacer el análisis suponiendo que se mantiene el valor de  $\mu$  en ambos proyectos y en segundo lugar variándolo.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo ha sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  y manteniéndolo en ambos proyectos se aportan en la tabla 6.22. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

Del análisis de todos estos valores se desprende que en concordancia con lo observado en el análisis de los árboles binomiales, la opción de flexibilidad tecnológica hace que el VAN mejore en el caso de una buena evolución de los precios, manteniendo el VAN negativo en el caso de que los precios no mejoren, pero esto se debe también a que no son buenas las condiciones para el cambio. También se observa cómo con una buena evolución de precios aumentan el número de cambios, como era de esperar.

El script permite utilizar diferentes valores del parámetro de  $\mu$  para los dos proyectos, lo cual es posible que ocurra ya que podrían evolucionar de forma diferente las dos tecnologías. Suponiendo que en el segundo proyecto el valor del parámetro  $\mu_2$  es 0,02

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número cambios	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	266 / 1000 = 26,6 %	132.022,79
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	216 / 1000 = 21,6 %	-273.186,53
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	247 / 1000 = 24,7 %	-29.443,84
Cálculo con cotización de socimis	0,09	279 / 1000 = 27,9 %	354.536,97
Valor $\mu = 0$	0,00	240 / 1000 = 24,0 %	-69.360,09

Tabla 6.22.: Resultados opción flexibilidad tecnológica en función de  $\mu$  siendo igual en ambos proyectos (Elaboración propia).

mayor que  $\mu_1$  se aportan en la tabla 6.23. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

En este caso se observa cómo aumenta el número de cambios respecto al caso en el que el valor del parámetro  $\mu$  era igual para ambos proyectos, y aunque no se aporta se comprueba que en el caso de que fuera menor disminuirían. También se comprueba cómo el valor del VAN es mayor que en el caso anterior.

### 6.3.5. Aprendizaje.

Las opciones de aprendizaje, como se ha visto, pueden ser de varios tipos, y principalmente consisten en realizar una primera inversión por diferentes vías, como ejecutando parte del proyecto, elaborando estudios de mercado, etcétera, para tratar de eliminar la incertidumbre. Uno de los métodos de cálculo es vía las opciones compuestas que es el método propuesto por Kodukula y Papudesu (2006), pero en este caso se va a utilizar para el cálculo de la opción de aprendizaje una variación del método utilizado por Mascareñas *et al.* (2003) en el que se utilizará la probabilidad de cada nodo del árbol binomial.

Por ejemplo, en el proyecto estudiado, la incertidumbre sobre los resultados es alta. Se ve muy bien en el árbol 1 con los precios que puede tomar el proyecto, como se ha visto en la opción de aplazamiento en la figura 5.8.

Ya se había calculado el VAN con la cuenta de explotación y era de -116.860,51 euros. Pero también es posible calcularlo a partir de la evolución de los árboles binomiales que obviamente no va a salir el mismo ya que se calculan por procedimientos muy diferentes, aunque obviamente deben ser parecidos. Se vuelve a calcular para obtener de esta manera un valor que sea comparable con el de la opción de aprendizaje que se obtendrá posteriormente.

En el script de cálculo se obtenía que el valor de la probabilidad  $p$  de los nodos hacia

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu_1$	$\mu_1$	Número cambios	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	377 / 1000 = 37,7 %	253.164,49
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	300 / 1000 = 30,0 %	-196.498,33
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	341 / 1000 = 34,1 %	39.509,37
Cálculo con cotización de socimis	0,09	409 / 1000 = 40,9 %	540.480,01
Valor $\mu = 0$	0,00	324 / 1000 = 24,0 %	-46.935,48

Tabla 6.23.: Resultados opción flexibilidad tecnológica en función de  $\mu$  siendo  $\mu_2 = \mu_1 + 0.02$  (Elaboración propia).

arriba era  $p = 0,44091$  y en los nodos hacia abajo  $(1 - p) = 0,55909$ . Para obtener el valor de la probabilidad de cada nodo, se utiliza el método explicado por Perillo (2013), el cual consiste en dos pasos, en primer lugar en calcular la probabilidad de cada uno de los nodos partiendo del nodo inicial que tiene probabilidad 1 y siguiendo hacia la derecha, calculando cada nodo que deriva del anterior multiplicando por  $p$  o por  $(1 - p)$  en función de si es hacia arriba o hacia abajo. En segundo lugar se deberá aplicar el triángulo de Tartaglia o Pascal y se multiplicará al valor obtenido en cada nodo por el número de recorridos posibles para llegar a él.

En la figura 6.39 se observan los valores de probabilidad del primer paso y en la figura 6.40 los del segundo paso.

Por lo tanto, combinando los tres árboles se desprende que los valores de flujos que podía tomar el proyecto eran 4.399.339,30 con probabilidad  $p^4 \cdot 1 = 0,03779$ ; 2.174.620,94 con probabilidad  $p^3 \cdot (1 - p) \cdot 4 = 0,19168$ ; 1.074.928,74 con probabilidad  $p^2 \cdot (1 - p)^2 \cdot 6 = 0,36462$ ; 531.344,00 con probabilidad  $p \cdot (1 - p)^3 \cdot 4 = 0,3082$ ; 262.646,67 con probabilidad  $(1 - p)^4 \cdot 1 = 0,09771$ . La suma de todas las probabilidades es  $0,03779 + 0,19168 + 0,36462 + 0,3082 + 0,09771 = 1,0000$ .

Si se calcula el valor actual esperado del proyecto se deberá calcular el valor actual de cada uno de los flujos actualizados por el interés con riesgo del proyecto, que como ya se explicó en la cuenta de explotación es del 5 % y multiplicarlos por su correspondiente probabilidad. Por lo que el VA esperado del proyecto sería 957.992,87 euros, y siendo la inversión inicial 1.191.789,25, el VAN esperado será -233.796,38 euros, que como se ha dicho no coincide con el de la cuenta de explotación porque se ha calculado de forma muy diferente.

Lo realmente importante que está diciendo este método es que de los cinco escenarios posibles, hay tres que darán pérdidas, siendo la probabilidad conjunta de los tres

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

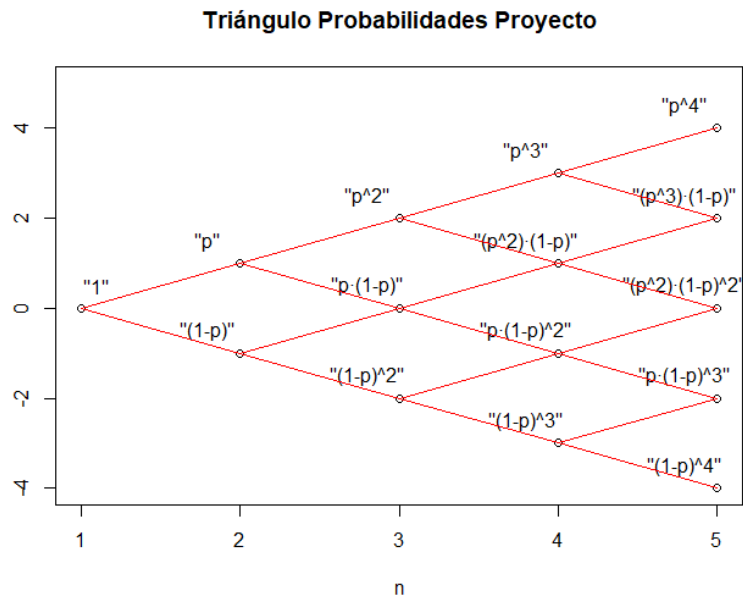


Figura 6.39.: Árbol con probabilidades del proyecto (Primer paso). ((Perillo, 2013) y Elaboración propia).

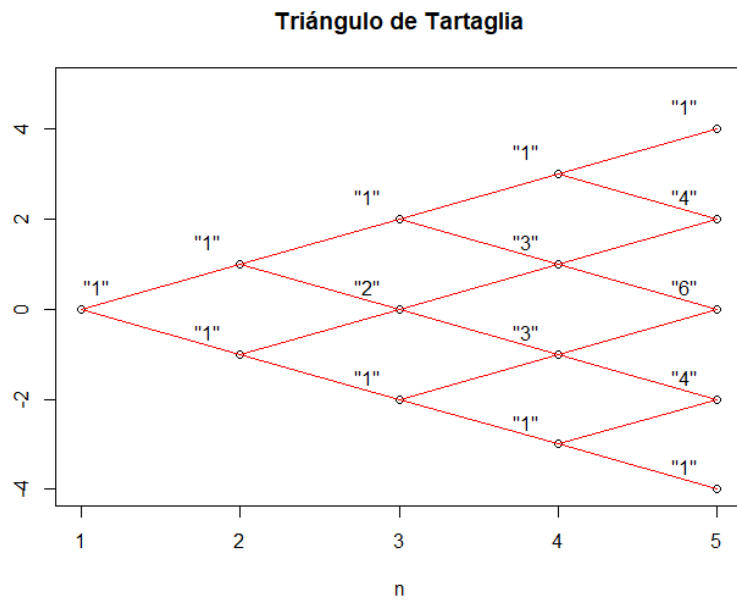


Figura 6.40.: Triángulo de Tartaglia o Pascal (Segundo paso). ((Perillo, 2013) y elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

escenarios del 77,05 %, aunque uno de los escenarios “solo” tendría una pérdida de -116.860,51 euros con una probabilidad del 36,46 %, pero los otros dos escenarios, que pueden considerarse como catastróficos, tienen una probabilidad conjunta del 40,59 %.

El valor esperado de los escenarios con pérdidas sería teniendo en cuenta la probabilidad de cada uno de los escenarios:  $-(116.860,51 \cdot 0,36462) - (660.445,25 \cdot 0,3082) - (929.142,58 \cdot 0,09771) = -336.945,43$  euros, que sería el precio máximo que se debería pagar por eliminar la incertidumbre. Esta cifra en valor absoluto sería el precio máximo de la opción de aprendizaje, porque como se explica a continuación puede ser menor.

Ante estos datos lo lógico es no iniciar la inversión salvo que se despejen las incógnitas, y en lugar de recurrir a una opción de aplazamiento, se puede hacer una inversión inicial que despeje las dudas. Por ejemplo, si el proyecto constara de varios edificios se podría comenzar solo uno para conocer la evolución de la demanda, los precios, etcétera, pero en el caso evaluado en esta Tesis el proyecto consta solo de un edificio con dos portales e iniciar solo un portal para aprender es demasiado arriesgado.

Se considera por lo tanto que lo mejor es hacer un estudio de mercado muy profundo contratando a una empresa especializada que mediante encuestas y técnicas estadísticas de alto nivel despeje la incertidumbre o por lo menos gran parte de ella. Este estudio puede ser muy caro en función de lo amplio de su alcance, pero si tras pedir ofertas, se obtiene una propuesta de por ejemplo 50.000,00 euros, la empresa debería hacerlo. En el caso de que los resultados obtenidos concluyan que efectivamente como parece que apuntan las probabilidades, los resultados sean malos, solo se habrá perdido 50.000,00 euros, pero en caso de que sean buenos se obtendrán los resultados del proyecto menos el precio pagado por el estudio, que en este caso tras eliminar la incertidumbre, el valor esperado del VAN sería  $3.207.550,05 \cdot 0,03779 + 982.831,69 \cdot 0,19168 - 50.000,00 = 309.602,49 - 50.000,00 = 259.602,49$  euros.

Como se puede comprobar el uso de opciones de aprendizaje es muy aconsejable, el problema es que no siempre se podrá eliminar toda la incertidumbre, pero sí puede ser posible eliminarla en gran parte, por lo que pueden utilizarse parcialmente.

### 6.3.6. Compuesta

Se ha explicado que existen de dos tipos, secuenciales y paralelas. La que se va a analizar sobre el ejemplo de esta Tesis es secuencial, siendo la paralela muy similar. El proyecto es el mismo que en las anteriores, y el script que se utilizará es el que se ofrece en la sección B.4.5 con valor de los parámetros tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = c. El horizonte temporal del proyecto son 4 años.

Se supone que la promoción inmobiliaria va a ser una inversión secuencial, es decir, el proyecto tiene tres hitos en los que hay que decidir si se sigue hacia adelante invirtiendo más, o detiene el proyecto, sin obtener nada. Si se supone que la promotora, sin haber comprado el terreno, tiene la posibilidad durante el primer año,  $t_1 = 1$ , de contratar la redacción del proyecto básico con una inversión de  $X_1 = 99.621,14$  euros (se ha calculado como la media obtenida de 20.000 simulaciones de Monte Carlo), lo cual durante el segundo y tercer año,  $t_2 = 3$ , le permite iniciar las ventas, lo que le supone una inversión

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

adicional de gastos de marketing, que no van a ser los totales de la promoción sino una parte que será completada cuando la obra esté en marcha, y que se puede estimar en  $X_2 = 90.000,00$  euros, y por último durante el cuarto año  $t_3 = 4$  ya se puede invertir en la compra del terreno, si es que es conveniente, invirtiendo  $X_3 = 1.191.789,25$  euros. No se han permitido más años para la compra del terreno e inicio del proyecto porque hay que tener en cuenta que ya se han producido ventas, y los compradores no pueden esperar tanto tiempo pese a que se les haya comunicado en el momento de la reserva, . La duración en años total será  $t = 4$  años.

Aunque en el cálculo de los árboles binomiales los valores de las inversiones se introducen sin actualizar, en el momento final de cálculo del VAN se deben actualizar los valores de las inversiones al momento actual, suponiendo que se ejecutan en el primer año que pueden hacerlo (Kodukula y Papudesu, 2006) al tipo de interés con riesgo, en este caso del 5 %. Por lo tanto,  $X_1 = 99.621,14$  no se actualiza,  $X_2 = 90.000,00$  se actualiza con  $t = 2$ , obteniéndose 81.632,65 euros, y  $X_3 = 1.191.789,25$  se actualiza con  $t = 3$ , obteniéndose 1.029.512,36.

El precio del subyacente, es decir, los flujos actualizados que se van a obtener con el proyecto, en las opciones anteriores era 1.074.928,74 euros, pero fue obtenido de manera diferente que la del presente ejemplo, ya que parte de las inversiones que ahora se toman como iniciales, allí se tomaban como flujos negativos, por lo que en este caso, para ser coherentes deben sumarse los valores actualizados de las inversiones, es decir, los costes del proyecto básico y parte de la publicidad, y la diferencia del valor actualizado de la compra del terreno. Se insiste en que esto se hace para que los valores tengan coherencia con el resto de cálculos de la Tesis, en otro caso no se debe hacer esto, ya que el valor que se obtiene de los flujos actuales directamente no ha contemplado las inversiones iniciales por lo que  $S = 1.074.928,74 + 99.621,14 + 81.632,65 + (1.029.512,36 - 1.191.789,25) = 1.093.905,64$  euros, ya que de otro modo se estaría aumentando la inversión inicial y no los flujos obtenidos. El valor del VAN sin opciones, por lo tanto es:

$$VAN_{básico} = 1.093.905,64 - (99.621,14 + 81.632,65 + 1.029.512,36) = -116.860,51$$

que como no podía ser de otra manera, coincide con el de los otros ejemplos.

El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 6.41.

A continuación se muestra el proceso de cálculo secuencial. En primer lugar se aporta el árbol 2 temporal obtenido como si solo existiera la última opción en la figura.

Pero el valor de la opción no es 405.255,23 euros porque para llegar a este valor hay que pasar primero por otras dos opciones que podrían no haberse ejercido. Por ello se debe volver a calcular el árbol 2 desde el momento temporal de la segunda opción hacia atrás, pero tomando como árbol 1 el árbol 2 temporal obtenido para la tercera opción. Es decir, el árbol 1, sobre el que se aplicará la función que calcula el árbol 2, será el árbol que se ofrece en la figura 6.42 pero solo hasta la fila y columnas del horizonte temporal de la opción 2, en este caso hasta las número 3. Se vuelve a calcular el árbol binomial 2 para la segunda opción con su precio de ejercicio y se obtiene el árbol 2 temporal que se observa en la figura 6.43.

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

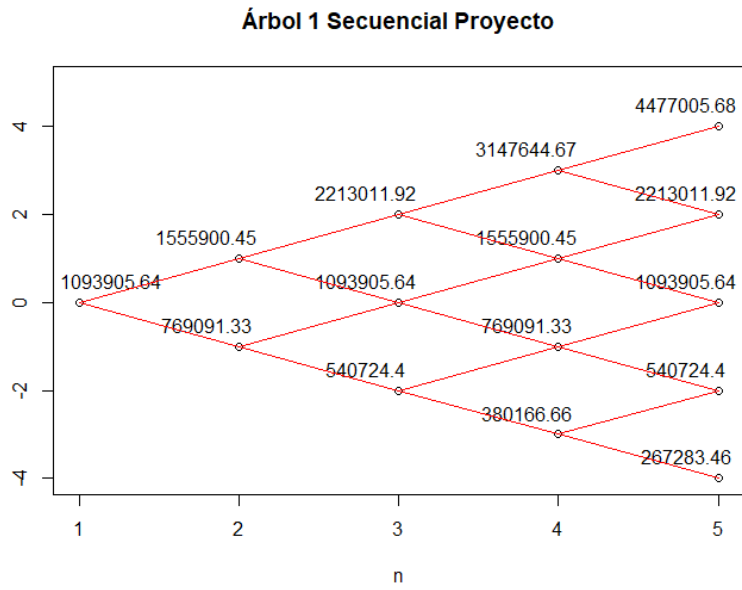


Figura 6.41.: Árbol 1 de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia).

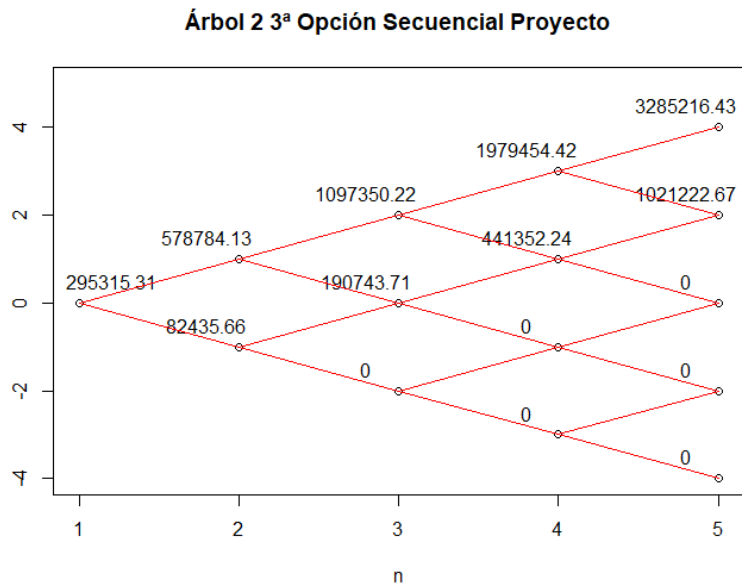


Figura 6.42.: Árbol 2 temporal para la tercera opción de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia).



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

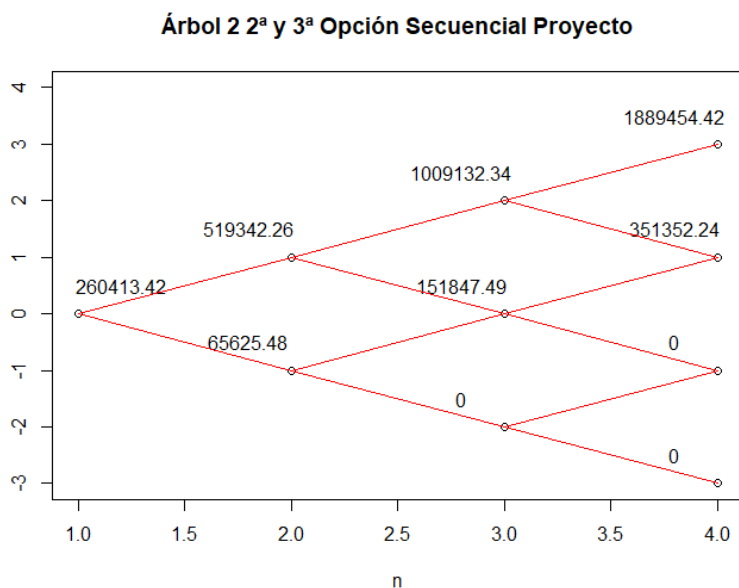


Figura 6.43.: Árbol 2 temporal para la segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia).

Pero el valor de la opción tampoco es 358.108,93 euros porque para llegar a este valor hay que pasar primero por la primera opción que podría no haberse ejercido. Por ello se vuelve a hacer el mismo proceso, pero ahora con los valores de la primera opción y con su momento temporal. Es decir, el árbol 1 sobre el que se aplicará la función que calcula el árbol 2, será el árbol que se ofrece en la figura 6.43, pero solo hasta la fila y columnas del horizonte temporal de la opción 1, en este caso hasta las número 2. El árbol 2 definitivo se observa en la figura 6.44.

Resulta aconsejable crear un árbol 2 combinado por los tres árboles vistos hasta el momento, con los valores que tienen relevancia, obteniéndose el de la figura 6.45.

Cuando el valor de alguno de los valores del árbol es cero, significa que la opción de invertir no aporta valor y no se ejecuta la opción. En el resto de las casillas para saber si se invierte o no la inversión correspondiente, sería necesario comprobar si su valor proviene de restarle al valor correspondiente del árbol 1 alterado en el script, que no se aporta aquí, el precio de ejercicio, en cuyo caso significaría que sí se ha ejecutado. El análisis se ofrece en la figura 6.46.

El valor de las opciones reales compuestas será 181.395,16 euros. Por lo tanto, el VAN del proyecto será el valor de los flujos de caja menos el valor de las inversiones necesarias, que en este caso son los tres valores mencionados actualizados al momento actual con el tipo de interés con riesgo que se elija para el proyecto, que en este caso es el 5% y se le debe sumar el valor de las opciones reales. Se utiliza la ecuación 2.10:

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

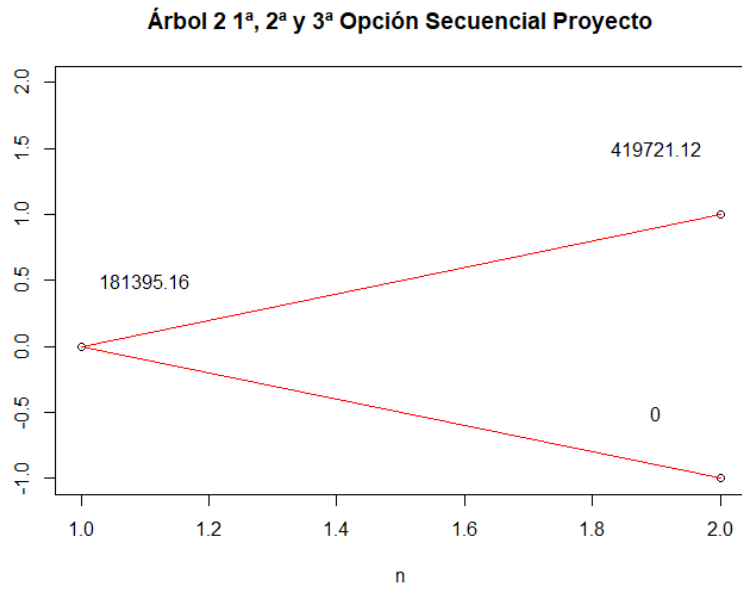


Figura 6.44.: Árbol 2 definitivo para la primera, segunda y tercera opciones compuestas de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia).

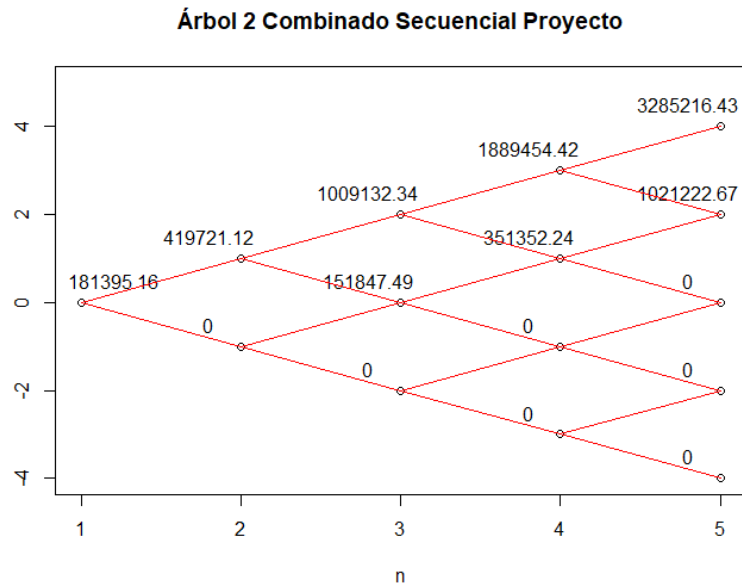


Figura 6.45.: Árbol 2 definitivo combinado para la primera, segunda y tercera opciones compuestas del ejemplo de la opción compuesta secuencial (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

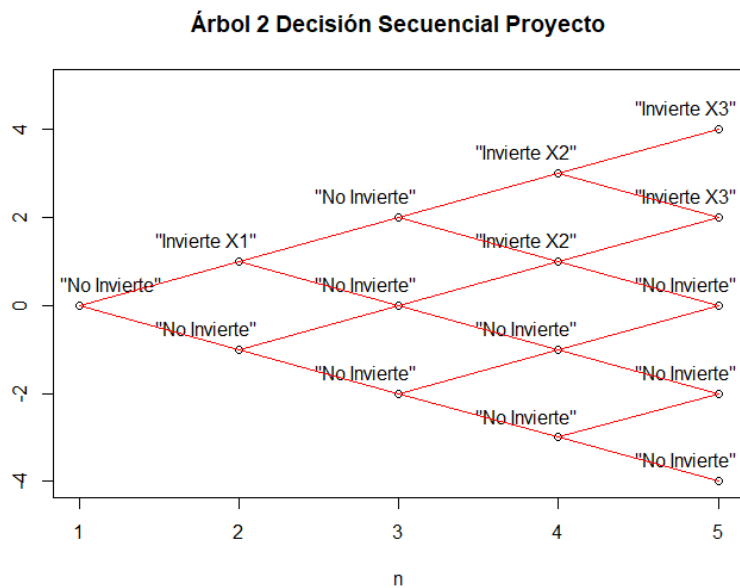


Figura 6.46.: Árbol con decisión de inversión o aplazamiento de la opción compuesta secuencial del proyecto (Elaboración propia).

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = -116.860,51 + 181.395,16 = 64.534,65$$

cuyo valor ha dejado de ser negativo y ha pasado a ser positivo.

Este valor como se puede comprobar es menor que el del valor de la opción de abandono visto en primer lugar y la explicación es clara, se debe a que no todas las inversiones se pueden dejar hasta el momento final, y dependiendo del camino seguido por los precios, puede ser que parte de las inversiones se ejecuten, para finalmente abandonar el proyecto, por lo que hay una pérdida, la cual no se produce en el caso de la opción de abandono total.

Por supuesto, esto no invalida este tipo de opciones, porque la posibilidad de tener una opción tan buena como la de abandono total sin necesidad de hacer una inversión inicial o por fases, resulta difícil de conseguir en el mundo inmobiliario y son más comunes las secuenciales, en la que se decida abandonar tras ver el resultado de las ventas.

En este caso no se hace el análisis en función del parámetro  $\mu$  por su complejidad, dejándose para futuras investigaciones.

### 6.3.7. Subcontratar.

Como ya se ha explicado cuando una empresa subcontrata una parte o la totalidad de su actividad, se puede comparar con una opción de reducción de su negocio. Por una

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

parte renuncia a desarrollar parte del negocio y por lo tanto a recibir los ingresos que habría generado. En la opción de reducción se recibe a cambio una cantidad porque la vende a un tercero. En este caso esta cantidad es equiparable a los ahorros que le supone a la empresa tanto en personal, instalaciones, etcétera y otras cantidades que le pueda pagar la empresa subcontratista.

En una promoción inmobiliaria este tipo de opciones es muy aplicable para la fase de construcción, pero no lo es tanto a nivel de la promotora. Una promotora suele ser una empresa que subcontrata prácticamente todos los trabajos que tiene que realizar, por lo que cuenta con poco personal propio. Para poder aplicarlo al ejemplo estudiado, se tendría que haber planteado por ejemplo la construcción como un negocio integrado dentro del total, es decir, no solo como un gasto, sino como una subcuenta de explotación, con sus ingresos, que provendrían de la propia promotora y serían iguales al apartado de gasto de la promotora, y con sus gastos, que provendrían de un cálculo muy elaborado a partir del presupuesto de ejecución material de la obra, los gastos indirectos, etcétera. Dependiendo de la buena gestión de la subunidad de construcción el beneficio podría aumentar todavía más.

Pero si se decide subcontratar la construcción, como se ha hecho directamente en el ejemplo, la empresa renuncia a una parte de los flujos de caja y en contrapartida recibe unos ingresos de ahorros en personal principalmente, almacenes, maquinaria, etcétera, además de que la empresa subcontratista puede ser que haga la obra por un menor coste que el previsto por la propia empresa, por lo que también sería un aumento en los flujos.

El cálculo finalmente es el mismo que el que se ha hecho con la opción de reducción, lo cual, unido a que no se ha planteado desde el principio el modelo de negocio de esta manera, hace que no sea conveniente hacer el cálculo numérico, ya que conllevaría el planteamiento de una nueva cuenta de explotación que no sería directamente comparable con la de las otras opciones, y además académicamente no aportaría nada nuevo a lo explicado en los párrafos anteriores.

### 6.3.8. Barrera.

Una vez que se toma la decisión de inversión es muy difícil volver atrás, por ejemplo en este caso tratado en la Tesis, en el que la inversión acarrea la compra de unos terrenos en un mercado poco líquido. Por ello, en ocasiones los gerentes prefieren crear una barrera de seguridad y aunque en condiciones normales ya se debería haber tomado la decisión de invertir, se prefiere seguir esperando a ver si la evolución sigue siendo buena. Estas opciones son muy recomendables y utilizadas. En el caso de inversiones secuenciales también serían útiles, aunque parte del riesgo se elimina con la inversión secuencial. También pueden ser utilizadas para las opciones de venta. El script utilizado es el que aparece en la sección [B.4.6](#).

Para el ejemplo de esta Tesis, se puede plantear una barrera para comenzar a invertir solo si las ganancias son de al menos 400.000,00 euros. Aunque se ponga una barrera, pueden darse casos en los que no actúe en el momento del cálculo ya que los valores son discretos y son pocos dependiendo de cuánto se subdivida el árbol. En el script se permite subdividir el árbol, aunque en los cálculos realizados solo se incluye un valor

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

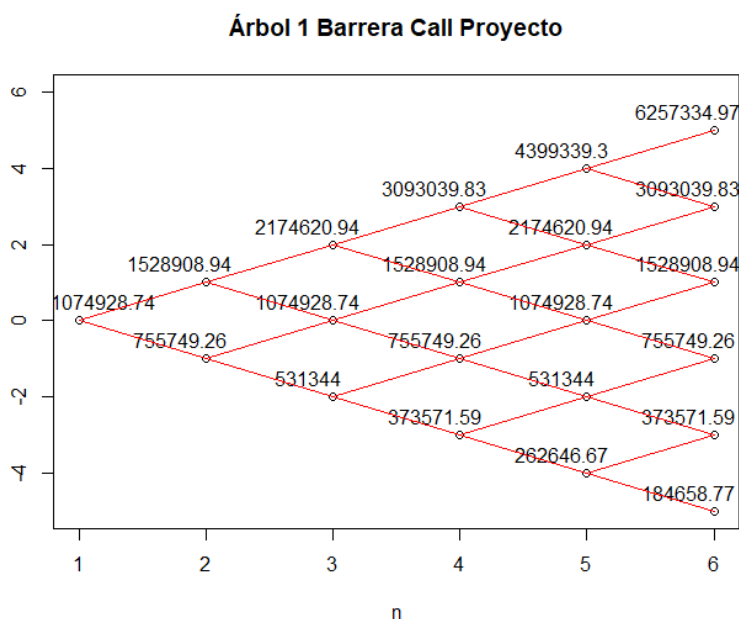


Figura 6.47.: Árbol 1 de la opción inversión con barrera (Elaboración propia).

por año. Por ello, para que en el cálculo se note que ha actuado la barrera, tienen que obtenerse al menos un valor por debajo de la barrera y que simultáneamente hubiera estado por encima de ella sin la barrera. En el ejemplo calculado en la Tesis con la opción de inversión o aplazamiento de 4 años, esto no ocurre. Por lo que para comprobar cómo actúa, se plantea en este apartado que la opción de aplazamiento exista durante cinco años, siendo el resto de parámetros los mismos y para la opción barrera, los parámetros para el script son: precio del subyacente  $S = 1.074.928,74$  euros, precio de ejercicio sigue siendo la inversión inicial que se va a efectuar  $X = 1.191.789,25$  euros, precio de barrera será el valor que si no superan las ganancias no se va a invertir, que será por lo tanto  $XB = X + Barrera = 1.591.789,25$  euros, la duración  $t = 5$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = c. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto sin barrera y con barrera, que por supuesto es el mismo, se muestra en la figura 6.47. El árbol 2 obtenido sin barrera se muestra en la figura 6.48 y el árbol 2 con barrera se muestra en la figura 6.49.

Se deben hacer varias consideraciones. En primer lugar, si se compara el resultado del valor de la opción en el árbol 2 sin barrera, 339.848,25 euros, con el obtenido cuando el tiempo de aplazamiento era de 4 años, 285.812,52 euros, se observa que es mayor, lo cual tiene lógica porque poder esperar un año más aporta más valor a la opción real. Pero entrando ya en el análisis de la opción con barrera, se observa cómo el valor de la opción de aplazamiento es menor y eso se debe a que al imponer condiciones más restrictivas, habrá menores ocasiones en las que se pueda ejecutar el proyecto, lo cual se observa a simple vista con la aparición de una fila más de ceros. El valor del proyecto, utilizando

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

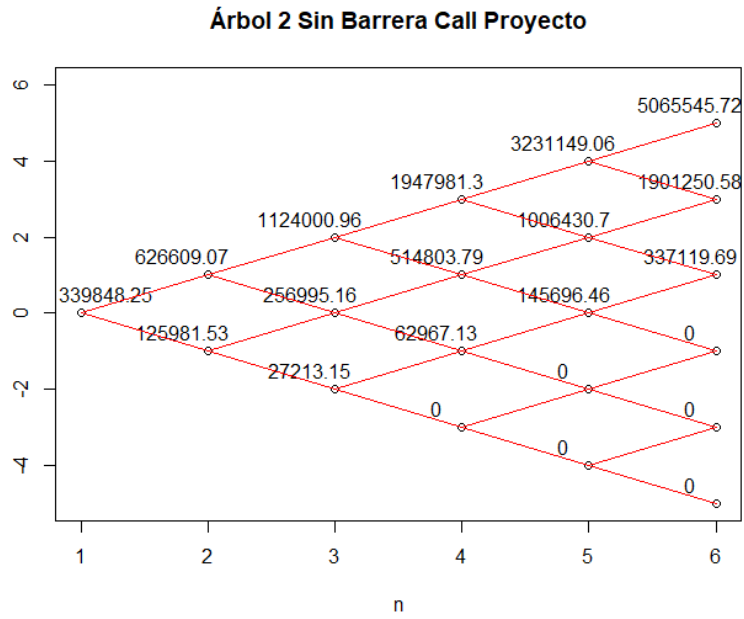


Figura 6.48.: Árbol 2 de la opción inversión sin barrera (Elaboración propia).

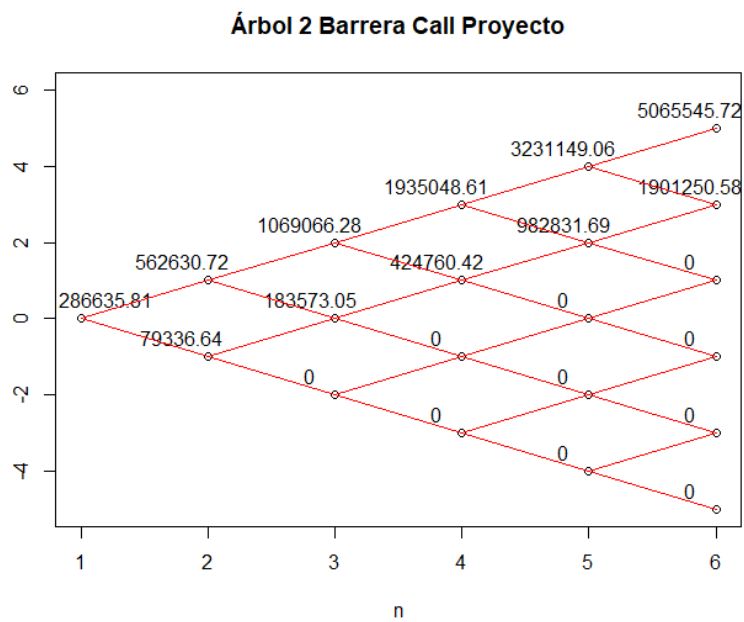


Figura 6.49.: Árbol 2 de la opción inversión con barrera (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número inversiones	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	261 / 1000 = 26,1 %	373.439,33
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	131 / 1000 = 13,1 %	136.164,16
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	239 / 1000 = 23,9 %	285.279,21
Cálculo con cotización de socimis	0,09	389 / 1000 = 38,9 %	587.165,00
Valor $\mu = 0$	0,00	206 / 1000 = 20,6 %	235.467,80

Tabla 6.24.: Resultados opción inversión con barrera en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

las fórmulas del VAN ampliado, sería sin barrera (y se insiste, con  $t = 5$  años):

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 339.848,25 = 222.987,74$$

y con la opción con barrera:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 286.635,81 = 169.775,3$$

Se concluye que la opción con barrera disminuye el valor del proyecto respecto a la opción de aplazamiento sin barrera, pero aporta mayor tranquilidad y seguridad al gerente de que en el caso de que se invierta el resultado será positivo.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4, donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con opción de inversión con barrera incluida con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección 6.3.1 se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo cuáles son los valores de  $\mu$  que se van a utilizar. El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo han sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.24. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

Se ha simulado también la opción de inversión con barrera para poder extraer conclusiones. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.25. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

La conclusión que se desprende del análisis de todos estos valores es que al aplicar una barrera para invertir se producen menor número de inversiones, como era de esperar y por lo tanto el valor obtenido medio del VAN en general es menor, aunque este resultado no es tan tajante como el del número de inversiones ya que al igual que se evitan resultados positivos, también se evitan resultados negativos, dependiendo el resultado

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número inversiones	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	385 / 1000 = 38,5 %	370.328,26
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	198 / 1000 = 19,8 %	150.822,18
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	304 / 1000 = 30,4 %	257.348,01
Cálculo con cotización de socimis	0,09	484 / 1000 = 48,4 %	645.374,09
Valor $\mu = 0$	0,00	288 / 1000 = 20,6 %	244.054,00

Tabla 6.25.: Resultados opción inversión sin barrera en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

final de la simulación. Se observa también que el número de inversiones con relación al valor de  $\mu$  sigue el camino esperado, es decir, a mayor valor de  $\mu$  mayor número de inversiones.

Se puede efectuar el mismo cálculo para la opción de abandono con barrera, pero en este caso no se repite el problema “numérico” encontrado en el ejemplo de la opción *call*. Para el ejemplo de esta Tesis, se puede plantear una barrera para abandonar de 200.000 euros, por lo que solo si las pérdidas son de al menos de dicho valor se abandone. Los parámetros para el script son, precio del subyacente  $S = 1.074.928,74$  euros, precio de ejercicio la inversión inicial, la cual es ligeramente diferente a la utilizada en el resto de opciones como se explica en la sección 6.3.3,  $X = 1.119.675,00$  euros, precio de barrera será el valor que si no superan las pérdidas no se va a abandonar, que será por lo tanto  $X_B = X - \text{Barrera} = 919.675,00$  euros, la duración  $t = 2$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = *p*, ya que se trata de una opción *put*.

Entrando ya en el cálculo se trata de una opción *put* con precio de ejercicio el dinero que se obtiene de la venta del proyecto y subyacente los flujos de caja obtenidos si se continúa con él. El valor del subyacente serán los flujos de caja,  $S = 1.074.928,74$  euros si continúa con el proyecto, el precio de ejercicio  $X = 1.119.675,00$  euros con tiempo para venderlo de  $t = 2$  años. El valor de la volatilidad es de  $\sigma = 35,23\%$  y el del tipo de interés  $r = 2\%$  y tipo de opción tipo = *p*, con los que se completa el script de abandono que aparece en la sección B.4.2. En la figura 6.50 se observa el árbol 1. El árbol 2 obtenido sin barrera se muestra en la figura 6.51 y el árbol 2 con barrera se muestra en la figura 6.52.

Se observa cómo el valor de la opción de abandono con barrera, 199.438,02 euros, es menor que el obtenido sin barrera, 210.035,85 euros, y eso se debe, al igual que en la *call*, a que al imponer condiciones más restrictivas, habrá menores ocasiones en las que se pueda abandonar el proyecto, lo cual se observa a simple vista con la aparición de una fila más de ceros. El valor del proyecto, utilizando las fórmulas del VAN ampliado, sería sin barrera:



## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

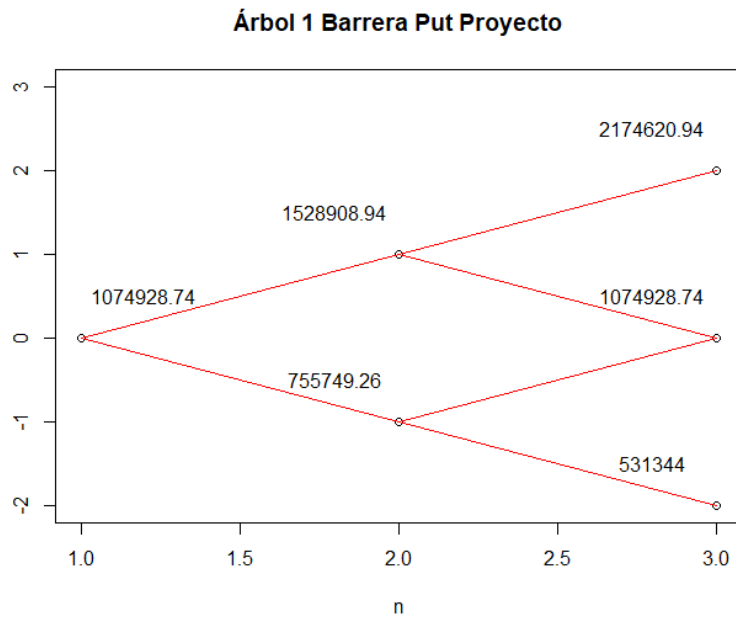


Figura 6.50.: Árbol 1 de la opción abandono con barrera (Elaboración propia).

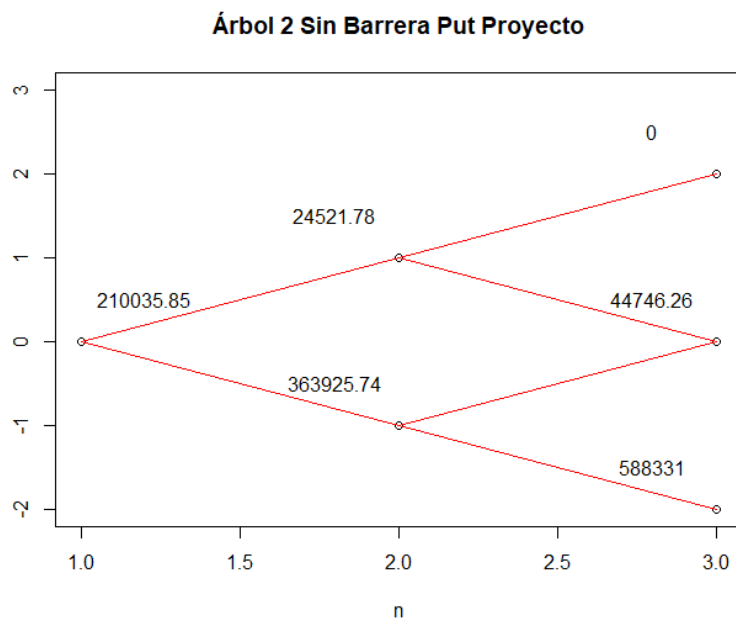


Figura 6.51.: Árbol 2 para opción de abandono sin barrera (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

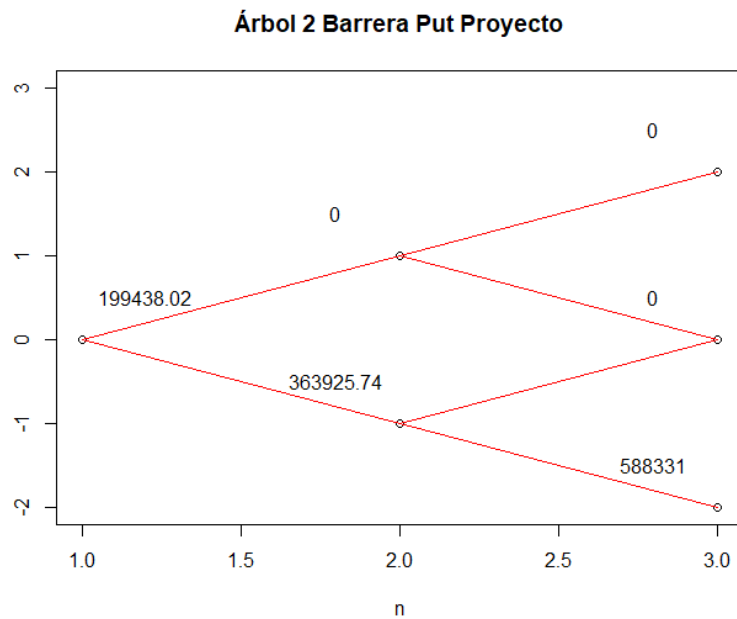


Figura 6.52.: Árbol 2 para opción de abandono con barrera (Elaboración propia).

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 210.035,85 = 93.175,34$$

y con la opción con barrera:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 199.438,02 = 82.577,51$$

Se concluye que la opción de abandono con barrera disminuye el valor del proyecto respecto a la opción de abandono sin barrera, pero aporta mayor tranquilidad al gerente respecto a que en el caso de que se abandone se haya tomado la decisión correcta.

En cuanto al segundo análisis, el número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo han sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.26. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

Se ha simulado también la opción de inversión con barrera para poder extraer conclusiones. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.27. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación.

La conclusión del análisis de todos estos valores es que al aplicar una barrera para abandonar, se producen menor número de abandonos, como era de esperar y por lo tanto el valor obtenido medio del VAN en general es menor, aunque este resultado no es tan tajante como el del número de abandonos, ya que al igual que se evitan resultados

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número abandonos	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	464 / 1000 = 46,4 %	153.915,30
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	582 / 1000 = 58,2 %	59.623,09
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	500 / 1000 = 50,0 %	135.968,96
Cálculo con cotización de socimis	0,09	384 / 1000 = 38,4 %	233.537,06
Valor $\mu = 0$	0,00	491 / 1000 = 49,1 %	121.483,33

Tabla 6.26.: Resultados opción abandono con barrera en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número abandonos	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	595 / 1000 = 59,5 %	156.478,03
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	697 / 1000 = 69,7 %	80.605,74
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	607 / 1000 = 60,7 %	155.305,17
Cálculo con cotización de socimis	0,09	508 / 1000 = 50,8 %	246.558,97
Valor $\mu = 0$	0,00	635 / 1000 = 63,5 %	100.840,51

Tabla 6.27.: Resultados opción abandono sin barrera en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

negativos, también se evitan resultados positivos, dependiendo el resultado final de la simulación. Se observa también que el número de abandonos con relación al valor de  $\mu$  sigue el camino esperado, es decir, a mayor valor de  $\mu$  menor número de abandonos.

### 6.3.9. Arco Iris.

Como se explicó en la sección 3.2.9, generalmente las incertidumbres de todas las variables se agrupan en una sola medida de volatilidad agregada. Pero si en el proyecto que se está analizando la incertidumbre o volatilidad de una de las variables es más importante que el resto y precisa de un análisis separado, en ese caso se pueden tener dos medidas de la volatilidad, la de una variable por separado, y la del resto agregada en otra medida. Ahora bien, si ya resultó complicado obtener el valor agregado de la volatilidad para este proyecto, obtener el valor de una de las variables separado del resto, puede ser una tarea realmente difícil. No obstante se va a trabajar con la hipótesis de que se puede extraer el valor de la volatilidad de los precios de la vivienda para La Rioja, que fue calculado en la sección 6.2 y de valor  $\sigma_{\text{prrio}} = 6,06\%$ , el cual puede ser consultado junto al resto de valores de volatilidad en la tabla 6.17. Otra forma de obtener la volatilidad de una variable concreta es dividiendo su desviación estándar entre la media, y obtener ese valor aplicando Monte Carlo en la cuenta de explotación a los ingresos por ventas, obteniendo una volatilidad del 9,81 %, por lo que una estimación del valor medio de la volatilidad de los precios de la vivienda podría considerarse del 7,94 %. Hay que recordar que el valor de la volatilidad global obtenido a partir de los flujos independientes era del 19,9 %, por lo que no sería apropiado comparar directamente los valores expuestos en el párrafo anterior con el valor de la volatilidad que se ha venido utilizando del 35,23 %, ya que no han sido obtenidos de la misma forma. Por lo tanto, se va a trabajar con la hipótesis mucho más apropiada de que el valor de volatilidad de las ventas sea  $7,94/19,9 = 39,87\%$  del valor total de volatilidad, es decir  $\sigma_{\text{previv}} = 0,3987 \times 35,23\% = 14,05\%$ , por lo tanto se puede considerar que el resto de las variables aportan una volatilidad de  $\sigma_{\text{resto}} = 21,18\%$ .

Como se ha comentado el número de valores de la última columna de un árbol cuadrinomial es  $4^t$ , es decir, para dos años 16 valores. En el caso de 4 años como el caso analizado para la opción de inversión, sería 256, por lo que, por razones de espacio, se ha hecho un cálculo para 2 años ofreciendo los árboles correspondientes, pero también se ha hecho el cálculo para 4 años pero ofreciendo solo el dato final, ya que aunque el script lo calcula sin problemas y ofrece los árboles en el visor de R, en la Tesis ocuparía mucho espacio. Los parámetros para utilizar el script de la sección B.4.7 son el precio del subyacente  $S = 1.074.928,74$  euros, precio de ejercicio  $X = 1.191.789,25$  euros, duración  $t = 2$  años, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma_1 = 14,05\%$  y volatilidad  $\sigma_2 = 21,18\%$ , tipo de opción tipo = c. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 6.53. El árbol 2 obtenido se muestra en la figura 6.54.

Si se hubiera realizado el cálculo para la opción de inversión en  $t = 2$  años con el script y la volatilidad originales, se habría obtenido como árbol 1 el que se ofrece en la figura 6.55. El árbol 2 obtenido se muestra en la figura 6.56.

Como se puede comprobar el valor obtenido es menor separando ambas volatilidades

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

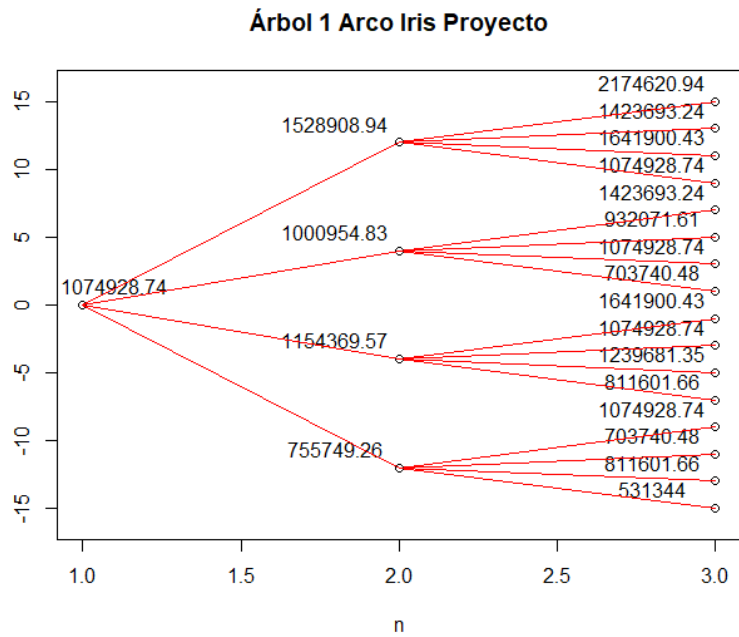


Figura 6.53.: Árbol 1 de la opción arco iris para t = 2 años (Elaboración propia).

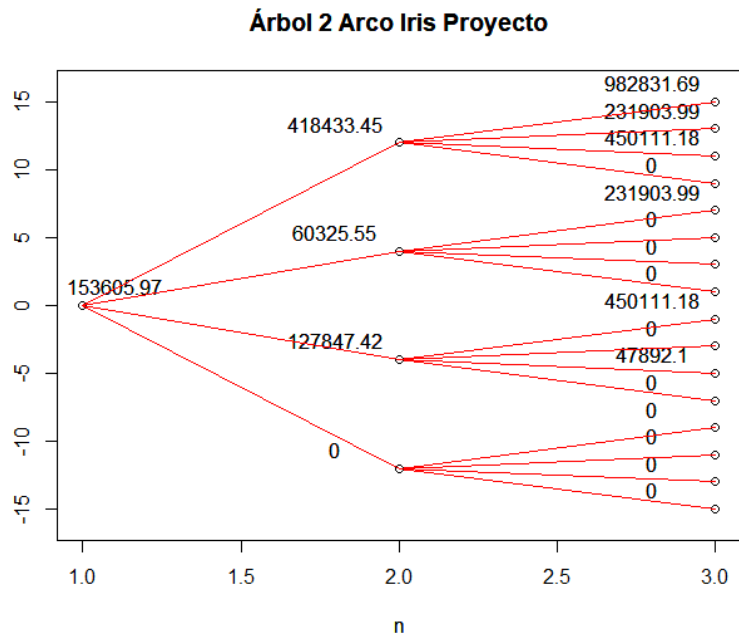


Figura 6.54.: Árbol 2 de la opción arco iris para t = 2 años (Elaboración propia).

6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

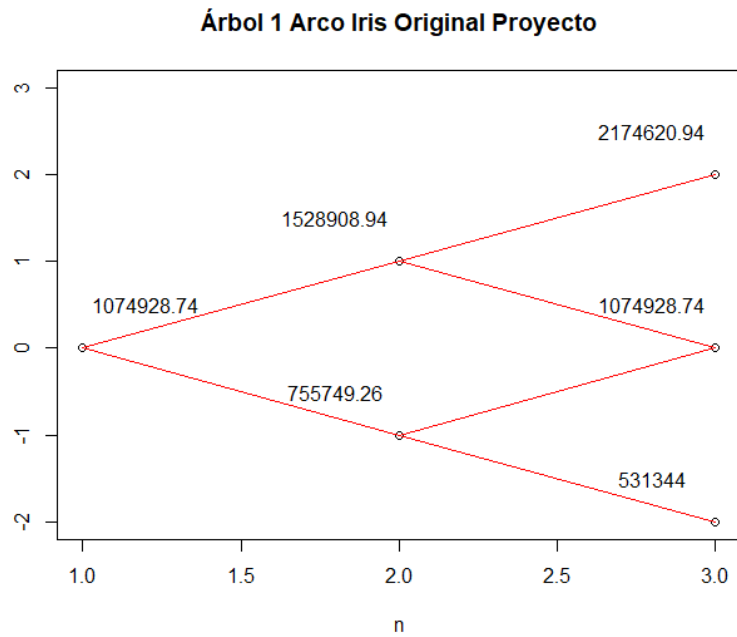


Figura 6.55.: Árbol 1 de la opción de inversión para  $t = 2$  años (Elaboración propia)

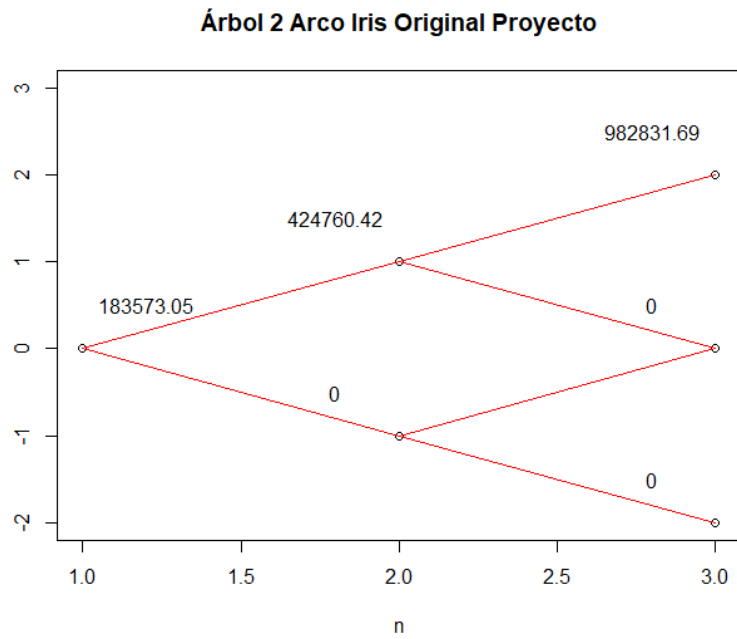


Figura 6.56.: Árbol 2 de la opción de inversión para  $t = 2$  años (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

153.605,97 euros que con la volatilidad conjunta 183.573,05 euros. Esto se debe al mayor cálculo de valores intermedios y no solo a los valores extremos, los cuales como se puede comprobar siguen siendo los mismos.

Si se hubiera realizado el cálculo para  $t = 4$  años, el valor obtenido con el script para la opción es de 263.122,90 euros, el cual es menor al obtenido con la volatilidad completa 285.812,52 euros. Esto se debe también a que los valores posibles del proyecto son mayores y se realiza un cálculo más exacto.

Las conclusiones que se obtienen es que partiendo de un proyecto cuyo VAN es negativo y debería ser descartado, aplicando la ecuación 2.10:

$$VAN_{ampliado\ total} = VAN_{básico} + VA_{opciones\ reales}$$

se obtiene que el valor del VAN será con  $t = 2$  años:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 153.605,97 = 36.745,46$$

y el valor del VAN con  $t = 4$  años:

$$VAN_{ampliado\ total} = -116.860,51 + 263.122,90 = 146.262,39$$

Cuyo valor ya es positivo, mayor cuanto más tiempo dure la opción y se concluye que no se debe descartar el proyecto, ya que habrá escenarios de inversión, dependiendo de la evolución del mercado inmobiliario. Las conclusiones son iguales a las obtenidas con la opción de aplazamiento o inversión. La ventaja que tiene separar la volatilidad de una de las opciones es que se pueden controlar mejor sus efectos, además de que el cálculo al hacerse con un árbol cuadrinomial es más preciso.

En este caso no se hace el análisis en función del parámetro  $\mu$  por su complejidad, dejándose para futuras investigaciones.

### 6.3.10. Escoger.

Este tipo de opción es una opción formada por varias de las anteriores actuando sobre el mismo proyecto. Es decir, se da por ejemplo cuando sobre un proyecto se tiene la opción de abandonar, expandir, contraer o continuar. Se utilizará el script escrito en la sección B.4.8.

La empresa tiene varias opciones para escoger. Los datos que se van a utilizar son los mismos que en los ejemplos anteriores, aunque no van a coincidir en algunos casos el tiempo durante el que se puede ejercer la opción ya que en dichos ejemplos se han planteado tiempos diferentes dependiendo de cada opción y en este caso debe ser el mismo tiempo para todas. Las opciones son las siguientes. Seguir con el proyecto original, abandonarlo obteniendo un valor de rescate de  $X = 1.119.675,00$  euros, expandir su negocio aumentando un factor de expansión  $fe = 50\%$  con un coste de  $XE = 655.484,09$  euros, o reducir su proyecto un factor de reducción  $fr = 50\%$  recibiendo a cambio  $XR = 715.073,55$  euros. La duración de las opciones se va a suponer que son  $t = 3$  años, lo cual hace, respecto a las opciones estudiadas en secciones previas, que aumente en un año la

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

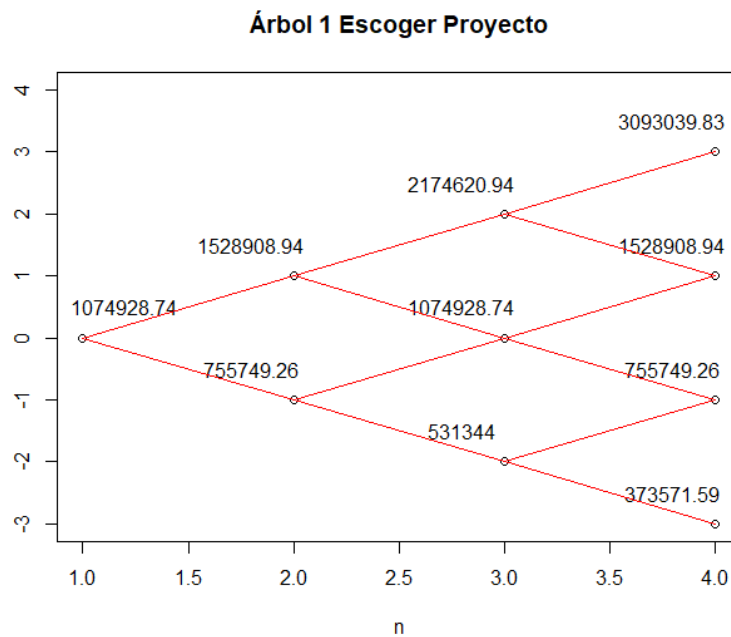


Figura 6.57.: Árbol 1 de la opción escoger (Elaboración propia).

opción de abandono y que se reduzca en un año la opción de expansión, manteniendo los años de la de reducción. Estos valores deberían ser los que realmente estén en el proyecto, y si alguna de las opciones existe durante más tiempo, se debería hacer el análisis año a año dependiendo de las opciones abiertas.

Los datos para el script son, además de los anteriores, precio del subyacente  $S = 1.074.928,74$  euros, tipo de interés sin riesgo  $r = 2\%$ , volatilidad  $\sigma = 35,23\%$  y tipo de opción tipo = c. Aunque no se trata de una opción *call*, sino combinada con *put*, en la toma de datos, por guardar una similitud con el resto de los scripts se ha hecho suponiendo que se trata de una opción *call*. El árbol 1 con la evolución de los precios del proyecto se muestra en la figura 6.57. El árbol 2 obtenido se muestra en la figura 6.58.

Como se puede observar en este caso no es posible a simple vista comprobar qué se escoge en cada nodo, si continuar, expandir, abandonar o contraer. Para ello, es necesario transformar el árbol 1 con la condición necesaria para la expansión, la reducción y el abandono y compararlo con el valor correspondiente de los valores del árbol 2 y si coincide significa que en ese momento se ha ejercido la opción correspondiente. El análisis se ofrece en la figura 6.59.

Utilizando los métodos de valoración expuestos en las secciones correspondientes a cada opción, el valor se obtiene de la resta del valor obtenido del árbol 1 al del árbol 2 siendo en este caso para obtener el valor de la opción escoger el siguiente cálculo:  $1.451.478,55 - 1.074.928,74 = 376.549,81$  euros.

También es interesante hacer el cálculo del valor del proyecto con las opciones por



6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

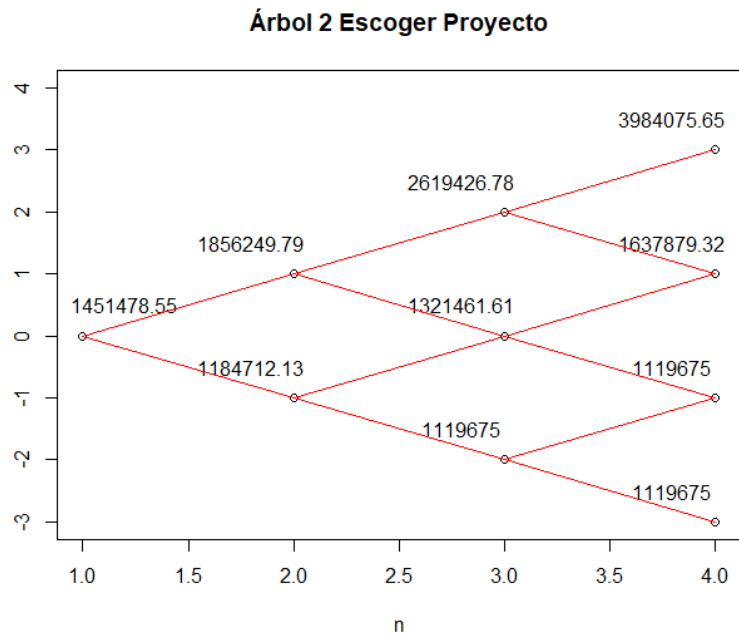


Figura 6.58.: Árbol 2 de la opción escoger (Elaboración propia).

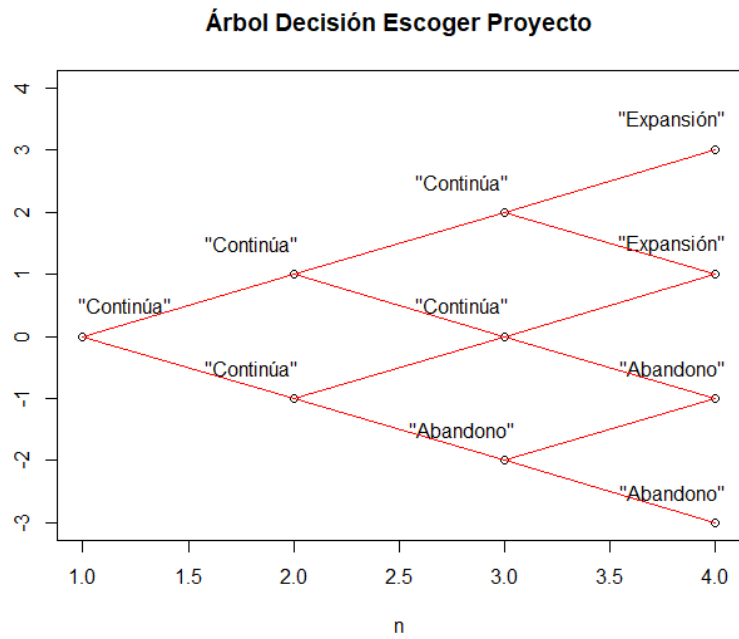


Figura 6.59.: Árbol con decisión de la opción escoger del proyecto (Elaboración propia).

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Modo obtención $\mu$	$\mu$	Número ex- pansiones	Número re- ducciones	Número abandonos	Valor medio del VAN
Evolución serie completa precios vivienda	0,0385686	299 / 1000 = 29,9 %	316 / 1000 = 31,6 %	385 / 1000 = 38,5 %	248.192,60
Evolución últimos precios vivienda	-0,04100	177 / 1000 = 17,7 %	284 / 1000 = 28,4 %	539 / 1000 = 53,9 %	68.291,74
Cálculo con ecuación 3.4	0,018654926	272 / 1000 = 27,2 %	303 / 1000 = 30,3 %	425 / 1000 = 42,5 %	202.159,60
Cálculo con cotización de socimis	0,09	403 / 1000 = 40,3 %	316 / 1000 = 31,6 %	281 / 1000 = 28,1 %	496.256,25
Valor $\mu = 0$	0,00	260 / 1000 = 26,0 %	298 / 1000 = 29,8 %	442 / 1000 = 44,2 %	215.089,86

Tabla 6.28.: Resultados opción escoger en función de  $\mu$  (Elaboración propia).

separado con sus scripts respectivos obteniendo, para la opción de abandono 271.161,90 euros, para la de expansión 105.389,00 euros y para la de reducción 228.557,69 euros. Se observan varias conclusiones. Como ya se indicó al exponer esta opción el valor de las opciones no es aditivo, sino que interaccionan unas con otras de modo que la suma de ellas de forma individual siempre será menor que de forma conjunta. También se observa que sin contemplar la opción de reducción, que en este caso no es escogida en ningún escenario, el mayor valor de la opción escoger respecto a la de expansión y abandono por separado, proviene de que cuando el proyecto va bien se puede escoger expansión y si va mal, que en caso de contemplar solo la de expansión perdería su valor, aparece la opción de abandonar, por lo que se sigue añadiendo valor.

Para obtener el VAN ampliado del proyecto se utiliza la ecuación 2.10:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = VAN_{\text{básico}} + VA_{\text{opciones reales}}$$

se obtiene que el valor del VAN será:

$$VAN_{\text{ampliado total}} = -116.860,51 + 376.549,81 = 259.689,30$$

cuyo valor ya es positivo y mucho mayor que cero, por lo que si se poseen estas tres opciones, o incluso como se ha comprobado en el árbol de decisión, solo las opciones de expansión y abandono conjuntamente, sería suficiente para tomar la decisión de no descartar el proyecto.

El segundo análisis corresponde con aplicar lo expuesto en la sección 5.3.4 donde se calcula el valor del proyecto actualizado directamente con todas las opciones incluidas

## 6. APLICACIÓN A UN PROYECTO INMOBILIARIO

Opción	$\Delta VA$	% $\Delta VA$	$VAN_{\text{ampliado total}}$
Aplazamiento	285.812,52	26,59 %	168.952,01
Expansión	125.636,70	11,69 %	8.776,19
Abandono	210.035,85	19,54 %	93.175,34
Reducción	228.557,69	21,26 %	111.697,18
Flexibilidad	117.340,65	10,91 %	480,14
Aprendizaje	376.463,00	35,02 %	259.602,49
Compuesta	181.395,16	16,87 %	64.534,65
Subcontratar	Ver explicación sección 6.3.7		
Aplaz. sin Barrera	339.848,25	31,61 %	222.987,74
Aplaz. con Barrera	286.635,81	26,66 %	169.775,30
Aban. sin Barrera	210.035,85	19,54 %	93.175,34
Aban. con Barrera	199.438,02	18,55 %	82.577,51
Arco Iris	263.122,90	24,47 %	146.262,39
Escoger	376.549,81	35,03 %	259.689,30

Tabla 6.29.: Resumen de resultados de las opciones del proyecto (Elaboración propia)

con simulación de Monte Carlo aplicada al caso que se está estudiando y utilizando árboles binomiales. En la sección 6.3.1 se ha explicado con mayor detalle, por lo que se remite allí al lector para profundizar, como por ejemplo cuáles son los valores de  $\mu$  que se van a utilizar. La variación en este script es que se calcula el precio del subyacente obtenido si no se ejecutan las opciones, y si se ejecutan, se aporta el precio correspondiente.

El número de escenarios planteados para la simulación de Monte Carlo han sido 1.000. Los resultados obtenidos en función del parámetro de  $\mu$  se aportan en la tabla 6.28. Los resultados obtenidos varían ligeramente en cada simulación. Como se puede comprobar, el número de expansiones es mayor cuanto mayor es el valor de  $\mu$ , ocurriendo lo contrario en el número de abandonos y manteniéndose relativamente estable en el número de reducciones. La distribución entre las diferentes elecciones dependerá de las condiciones que se impongan para cada una de ellas. El hecho de que en este análisis aparezcan reducciones y no lo hicieran en los árboles anteriores, se debe a que para los valores concretos que aparecían en los árboles, eran más favorables las expansiones o los abandonos, pero si el árbol hubiera tenido mayor número de nodos habrían aparecido las reducciones. El valor del VAN aumenta con el valor de  $\mu$  como era de esperar y viceversa, comprobando por comparación con las tablas obtenidas en las opciones simples que poseer opciones de escoger es muy beneficioso.

### 6.3.11. Resumen de las opciones del proyecto

En esta sección se ofrece un resumen de los resultados obtenidos. El objetivo en este caso no consiste en la comparación entre las opciones para escoger la mejor, ya que los resultados dependen de las condiciones económicas de cada una, y además puede ser que no existan simultáneamente, ya que en el proyecto escogido se dan las condiciones para que existan todas, como la existencia de un comprador de suelo, la posibilidad de ampliar, etcétera. Pero la presentación de resultados en una tabla como la 6.29 contribuye a una mejor percepción visual del valor de las opciones reales del proyecto, y en cuáles merece más la pena trabajar por mejorarlas frente a las menos valiosas.

Se recuerda que los datos de partida del proyecto eran: valor inicial de la inversión 1.191.789,25 euros y valor de los flujos actualizados 1.074.928,74 euros, lo cual daba un valor del  $VAN_{\text{sin opciones}}$  de -116.860,51 euros. En la tabla 6.29 se aporta el incremento del Valor dado por cada opción, el VAN con la opción y el tanto por ciento que incrementa el valor de los flujos actualizados.

Los resultados de cada opción dependen de las condiciones de cada una de ellas por lo que no son directamente comparables incluso dentro del mismo proyecto, ya que obedecen a condiciones particulares. Sí que destaca con mayor incremento de la rentabilidad la opción escoger con un gran aumento del beneficio debido a su flexibilidad, así como la de aprendizaje. También destacan por la parte baja, la de flexibilidad tecnológica y la de expansión, debido a que tienen que hacer inversiones para poder aprovecharlas.

El uso de opciones reales puede hacer que muchos proyectos que se consideraban no rentables pasen a serlo y se aproveche el verdadero potencial que tienen.

## 7. CONCLUSIONES

Y un hombre hambriento y sin hogar, recorriendo las carreteras con su mujer a su lado y los delgados hijos en el asiento trasero, miraba los campos en barbecho que podían producir comida, pero no beneficios, y ese hombre sabía que un campo en barbecho es un pecado y la tierra sin explotar un crimen contra esos niños flacos. Y un hombre tal avanzaba por las carreteras y sentía la tentación en cada campo, y el deseo vehemente de apropiarse de los campos y hacerlos producir energía para sus hijos y algunas comodidades para su mujer.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

Al inicio de la Tesis se plantearon varios objetivos generales y específicos, que han sido alcanzados durante la investigación. Fruto de este trabajo se han obtenido interesantes resultados no solo para los investigadores de opciones reales, sino también para los empresarios del sector inmobiliario, los reguladores, los bancos que financian los proyectos, sociedades de tasación y empresas aseguradoras. A continuación relacionamos los objetivos planteados inicialmente con las conclusiones obtenidas, presentando los resultados más relevantes.

En general los estudios de rentabilidad realizados para proyectos inmobiliarios son básicos, con técnicas que adolecen de problemas, utilizando en el mejor de los casos el Valor Actualizado Neto. Estas técnicas hacen una valoración estática del proyecto, sin contemplar la posibilidad de toma de decisiones de los gerentes en función de la evolución del mercado o del propio proyecto. Este problema se suele paliar en cierta medida con los análisis de sensibilidad, pero no deja de ser un método estático. Se ha conseguido el objetivo de demostrar la utilidad de las opciones reales para el análisis de proyectos inmobiliarios, encontrando que dicho método incrementa la valoración de proyectos obtenida por otras técnicas como el VAN derivado de la posibilidad de tomar decisiones en función de la evolución del mercado. De esta manera también se ha alcanzado el objetivo de que los promotores obtengan mayor rendimiento para sus inversiones colaborando en la creación de riqueza y puestos de trabajo para la sociedad en general.

Pero los proyectos inmobiliarios tienen muchas características que los diferencian de otro tipo de proyectos por lo que se marcaron como objetivos analizar sus peculiaridades frente a otros sectores, y también exponer los riesgos a los que se enfrenta el proyecto desde su comienzo hasta su finalización, los factores que influyen en su cuenta de resultados, etcétera. Se concluye que el estudio debe contemplar previsiones de demanda y de precios por métodos estadísticos avanzados y no solo por estudios de mercado. Por ejemplo, en la Tesis se han hecho predicciones del comportamiento del mercado

## 7. CONCLUSIONES

inmobiliario por medio de modelos ARIMA, caracterizando dos series, la de licencias concedidas y la de los precios de venta, obteniendo resultados que dan por finalizado el gran descenso de precios y actividad de estos últimos años pero que indican que la recuperación a un año vista no va a permitir llegar a los precios de la década pasada. Gracias a la utilización de estos métodos estadísticos se elimina la componente subjetiva que existe detrás de la elaboración de un estudio de mercado.

Para ello se debe recurrir a un equipo multidisciplinar formado por arquitectos, ingenieros y economistas para conocer verdaderamente el alcance del proyecto y poder afrontar mejor los riesgos a los que se enfrenta. De esta manera desaparecerán muchos riesgos y parte de la incertidumbre, o por lo menos será posible afrontar mejor aquellos que no es posible eliminar.

Por lo tanto, una vez estudiada la evolución del mercado inmobiliario y demostrada la necesidad de mejorar los análisis de rentabilidad con técnicas como las opciones reales, se ha investigado la aplicación de este método en otros sectores con el objetivo de conocer los avances de la técnica, observando que es posible su adaptación al sector inmobiliario para que recojan las oportunidades que aparecen a lo largo de la vida de una promoción. Algunas han sido fácilmente trasladables y aparecen en casi todos los proyectos, mientras que otras aparecen en contadas ocasiones y si lo hacen, es muy corto el tiempo en el que se mantienen. Una de las más comunes es la opción de aplazamiento, que se da prácticamente en la totalidad de promociones, pero por ejemplo otra bastante común como la de expansión necesita que haya suelo en venta en las inmediaciones como ocurre en nuevos sectores residenciales en las afueras de las ciudades, y en cambio no se puede expandir en otros lugares, como en suelos en centros históricos de ciudades.

Entre las opciones que han sido más difíciles de adaptar se encuentran las operativas y de flexibilidad tecnológica, aunque también se ha conseguido. De hecho, las nuevas tendencias con reformas muy abiertas para el comprador con el uso de aplicaciones web para diseñar su vivienda entrarían dentro de este tipo de opciones.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que si un método de valoración resulta muy complejo de llevar a la práctica, no tendrá la deseada transferencia hacia las empresas. Para conseguir que las empresas inmobiliarias de todos los tamaños puedan utilizar la técnica de las opciones reales, se planteó como objetivo aportar programas de cálculo sencillos. Se ha utilizado software libre como R o Gretl para que este tipo de herramientas puedan comenzar a usarse de forma paulatina, sobre todo en las empresas de menor tamaño. Los scripts desarrollados en la Tesis se aportan en anejos de forma que puedan ser utilizados libremente y cumplir el objetivo de que la Tesis sea beneficiosa para la sociedad.

Otro importante objetivo de la Tesis era calcular las opciones por diferentes métodos para comprobar las ventajas o precisión de cada uno de ellos. En el estudio de las opciones reales se debe elegir cuál es el modelo que marcará la evolución del subyacente. Tras el análisis de diferentes modelos que permitan seguir la evolución de los ingresos y en concreto el del precio de la vivienda se ha estudiado el comportamiento de su serie temporal. El modelo Lognormal recoge perfectamente su evolución y presenta ventajas respecto a otros por lo que ha sido el utilizado en la Tesis.

Como resumen de los cálculos que permiten hacer los scripts que se han escrito,

## 7. CONCLUSIONES

es posible estimar los parámetros del modelo Lognormal y hacer predicciones, así como calcular el precio de las opciones reales por tres vías diferentes que han sido debidamente contrastadas y validadas, por fórmulas cerradas como la de Black - Scholes, por simulación de Monte Carlo y por árboles binomiales.

Tras alcanzar el objetivo anterior se planteaba otro no menos importante, consistente en poner en práctica los programas con un proyecto real. Se ha escogido un terreno ubicado en España, en una población de tamaño pequeño como es Santo Domingo de la Calzada en La Rioja, que permite la existencia de todas las opciones reales estudiadas en la misma. Se ha elaborado una cuenta de explotación en la que se han incorporado distribuciones estadísticas y aplicado el método de Monte Carlo para el cálculo del VAN. Se observa que el uso de este tipo de cuentas de explotación aporta información mucho más valiosa que las cuentas estáticas sobre todo en lo que concierne al riesgo de la promoción. Los resultados obtenidos son mucho más potentes que los que se pueden obtener mediante un análisis de sensibilidad, pero aunque los scripts son capaces de automatizar la toma de decisiones, como por ejemplo cuáles son las distribuciones estadísticas de cada variable, es necesario supervisar la calidad de los datos suministrados, así como disponer de la capacidad analítica suficiente para interpretar correctamente los resultados.

Sobre los parámetros necesarios para el cálculo de las opciones reales, se ha llegado a la conclusión de que el más difícil de hallar es el valor de la volatilidad. Ante el gran número de métodos disponibles en la literatura para su cálculo, se ha optado por realizar un promedio de una selección de ellos a fin de obtener una medida suavizada de la misma.

Al cálculo de las opciones reales existentes en el proyecto mediante árboles binomiales, se ha añadido en algunas de ellas el cálculo mediante simulación de Monte Carlo del valor del VAN en función del parámetro  $\mu$  del modelo Lognormal. De esta manera así se pueden conocer más detalles sobre la evolución del proyecto en función de los diferentes escenarios del comportamiento de los precios y del mercado, así como el rendimiento de la opción real en el caso de que hubiera que pagar por ella.

Tras el planteamiento del modelo, el diseño del proyecto real, el cálculo de los parámetros que intervienen y el análisis de los riesgos, se calcula el valor de las diferentes opciones reales. Los resultados obtenidos y el valor de cada opción dependen de las características del proyecto, pero son de gran interés porque son extrapolables para opciones del mismo tipo en otros proyectos inmobiliarios.

Por ejemplo, la opción de aplazamiento permite diferir el momento de comienzo de la promoción, lo cual permite disipar dudas que pueden existir sobre la evolución futura del mercado. Un buen ejemplo sería el mercado inmobiliario español en el que parece que según qué zonas, es probable un cambio y un aumento de la demanda. La posibilidad de aplazar para estar seguros del comportamiento positivo del mercado aumenta el VAN y se comprueba que no se debe abandonar el proyecto si el VAN está cercano a cero. El valor de la opción de aplazamiento puede verse penalizado en el caso de que no sea exclusiva y se adelante la competencia. Para el caso planteado en la Tesis se observa que en función del valor de  $\mu$  el porcentaje de inversiones de la simulación de Monte Carlo varía. Un resultado importante destacable es que, aunque el número de escenarios en los que se invertirá finalmente según dicha simulación es solo del 35 %,

## 7. CONCLUSIONES

el valor de la opción de aplazamiento es bastante alto, ya que tener la posibilidad de invertir una vez que se comprueba que el mercado será favorable, aporta gran valor a la empresa, aunque no se invierta en un elevado número de ocasiones.

A su vez la opción de expansión aparece en numerosas ocasiones en las promociones, ya que consiste en aumentar el tamaño del proyecto, lo cual puede hacerse comprando una parcela cercana. Uno de los resultados obtenidos es que el valor de esta opción se ve muy influenciado por el precio de la parcela que se debe comprar para expandir, valor que puede ser más elevado que el de la parcela original ya que el vendedor querrá aprovecharse del interés que tiene el promotor que ya está construyendo en el mismo lugar. Se deberá tener en cuenta en el análisis como factor negativo una vez más el posible adelanto de la competencia, pero como factor positivo las sinergias que se crearán al estar construyendo en un emplazamiento cercano con el consiguiente ahorro de costes en numerosas partidas. En la opción valorada en el proyecto se ha sido prudente en la valoración de estas sinergias, por lo que el pequeño tamaño de la expansión, del 50 %, unido a los altos costes, han hecho que no sea muy elevado el valor de la opción, aunque sí suficiente para conseguir que sea positivo. Este resultado concuerda con el obtenido mediante el análisis de Monte Carlo, donde el valor será negativo en el caso de una evolución de los precios normal o no favorable.

Por otra parte, la opción de abandono permite vender el proyecto por un determinado valor. Esta opción por lo tanto no es muy fácil de encontrar en la práctica, porque generalmente cuando se quiere abandonar un proyecto es porque no es rentable y será difícil que otro promotor sea capaz de rentabilizarlo. No obstante, sí que se pueden encontrar casos si una promotora tiene que reducir su cartera de inversiones por temas de liquidez o financiación. El problema de la opción de abandono por lo tanto es que tiene que existir un comprador, pero si este existe, tiene un gran interés. Una vez más el valor de esta opción dependerá de los parámetros, por lo que para los valores estudiados en la Tesis, en los que el precio de venta es bueno, se producen un gran número de abandonos cercano al 60 %. Esto no ocurriría si el VAN de partida fuera positivo. No se debe olvidar que las opciones reales no solo se utilizan cuando el VAN es negativo, sino también cuando es positivo.

La opción de reducción es similar a la de abandono, pero aparece cuando es parte del proyecto lo que se vende y no la totalidad. Esto es posible cuando el proyecto está formado por varias parcelas, o también en parcelas únicas pero de gran tamaño, cuando está dividido por portales y es factible la venta de parte de ellas. En el caso estudiado en la Tesis se producen gran número de reducciones en la simulación de Monte Carlo, debido al buen precio de venta y al valor de partida ya negativo del VAN. Las conclusiones por lo tanto son las mismas o similares que las de la opción de abandono, pero presenta unas particularidades que deben tenerse en cuenta. En el resto de las opciones siempre se ha avisado sobre el riesgo de que la competencia actúe. En este caso es el propio promotor el que introduce a la competencia. Es decir, por un lado obtiene un beneficio al quitar parte de una promoción que puede dar resultados negativos, pero por otro lado, a la parte de la promoción que mantiene, la penaliza al meter a un competidor que con absoluta seguridad creará un producto mejor y más adaptado a las condiciones actuales del mercado y creado específicamente para competir



## 7. CONCLUSIONES

contra el primer promotor, por lo que se deriva que solo deben ser utilizadas este tipo de opciones en caso de extrema necesidad. Otra particularidad que presentan es que para poder vender las parcelas no debe haberse iniciado la construcción o será mucho más complicado venderlas.

Ya se ha comentado en párrafos anteriores que las opciones operativas y de flexibilidad tecnológica se pueden equiparar a permitir reformas muy abiertas para el comprador con el uso de aplicaciones web para diseñar su vivienda, o también a cambios en los materiales para obtener unas viviendas de mejores prestaciones. En este caso se analiza la evolución de los dos proyectos, el original y el modificado, y es necesario conocer el precio que se debe pagar para el cambio, lo cual es sencillo, pero también la nueva volatilidad del nuevo proyecto, la cual es difícil de obtener. Para el proyecto estudiado en la Tesis en el que se permiten cambios relacionados con la calificación energética del edificio, se obtiene una mejora en el resultado del VAN, pero no sería suficiente para aceptar el proyecto porque sigue estando en valores cercanos a cero. Este resultado indica que no siempre la presencia de opciones reales es suficiente para aceptar un proyecto, sino que deben valorarse adecuadamente. El número de cambios dependerá de los parámetros, comprobándose que en el caso estudiado en la Tesis no hay una elevada cantidad ya que las condiciones no son buenas. Se observa que si el valor del parámetro  $\mu$  es diferente en ambos proyectos y es superior en el segundo, se producen mayor número de cambios y viceversa.

La opción de aprendizaje permite disminuir la incertidumbre presente en el proyecto. Es muy utilizada en otro tipo de negocios, como el petrolero, pero también es posible ejercerla en el inmobiliario mediante la contratación de estudios de mercado o comenzando parte de la promoción de forma que se conozca el comportamiento real del mercado. Para el cálculo de esta opción se ha utilizado un método diferente, utilizando el triángulo de Tartaglia y calculando la probabilidad de cada nodo, de modo que al despejar la incertidumbre se está valorando cuánto es el resultado negativo que se ha evitado basado en su probabilidad. Lo más interesante de este método es que resulta posible cuantificar cuánto se puede pagar por aprender, ya que no se debería hacer a cualquier precio y depende de cada proyecto. El cálculo de probabilidades se puede utilizar también en el resto de las opciones planteadas fácilmente.

Las opciones compuestas, ya sean secuenciales o paralelas, son también adaptables a los proyectos de edificación. En el ejemplo tratado se comprueba que una opción de tipo secuencial del tipo aplazamiento se adapta a la realidad incluso mejor que la de aplazamiento propiamente dicha, ya que por las características de los proyectos hay tres fases muy marcadas como son la redacción de proyectos, el inicio de las ventas y el inicio de la construcción. Cada una de ellas tendrá un plazo determinado para poder comenzar y para que comiencen deben haberse dado las anteriores. En este tipo de opciones se debe ir haciendo inversiones parciales si se comprueba que el negocio evoluciona favorablemente. Esta forma de proceder es realmente la que se practica en los proyectos inmobiliarios, pero la diferencia aquí es que se obtiene lo que se incrementa el valor del VAN, y como ya se ha reiterado, aceptar proyectos que de otra forma no se habrían realizado.

En el esquema de modelo de negocio actual, es muy normal subcontratar la mayoría

## 7. CONCLUSIONES

de los trabajos y en algunos casos la totalidad, por lo que la opción de subcontratar solo se puede plantear en aquellos casos en los que el modelo de negocio de la empresa promotora sea no subcontratar, como por ejemplo, si cuenta con empresa constructora integrada en la promotora. La opción es similar a la de reducción y es conveniente siempre hacer su planteamiento. Se debe tener en cuenta que las sinergias que aparecen por tener toda la cadena de negocio integrada desaparecerían, pero por contra al subcontratar también es posible aprender y dar entrada a nuevas ideas, técnicas y conocimientos que de otro modo son más difíciles de conseguir.

Las opciones con barrera son útiles para protegerse una vez ejecutada la opción, ante cambios en la evolución del mercado con las consiguientes pérdidas. Son similares a los stop loss en los mercados financieros. El uso de estas barreras hace que se pierda parte del negocio, pero también se asegura que una vez que se toma la decisión, esta será acertada en mayor medida. La opción con barrera por lo tanto aporta menor valor al VAN, pero el resultado obtenido es más seguro. También se observa en la simulación de Monte Carlo que el número de escenarios en los que se invierte es menor. El valor de la barrera dependerá del riesgo que esté dispuesto a asumir el promotor. Este tipo de barreras pueden ser utilizadas tanto en opciones tipo *call*, como las opciones de aplazamiento e inversión, o en opciones tipo *put* como las de abandono, encontrando en ambos casos mayor seguridad a costa de menor incremento en el VAN.

Cuando una de las variables que intervienen en el cálculo del valor del proyecto es más significativa que otras, puede ser conveniente separar su volatilidad del resto para conseguir analizar mejor su influencia. Esto conlleva el cálculo con árboles cuadrinomiales, lo cual aumenta mucho el número de escenarios posibles ya que el número de escenarios de la última columna pasa de ser el número de pasos  $t$  más 1, a ser  $4^t$ , lo cual para una opción de 4 años con incremento de tiempo de 1 año, son 256 escenarios. Tras rehacer el script que permite su cálculo, ya que tiene grandes diferencias con los anteriores, las conclusiones son similares que para el resto de las opciones, pero obteniendo más información de los escenarios posibles. Además, también se consigue el principal objetivo, que es poder comprobar como afectarían al proyecto cambios en la volatilidad de la variable más importante sin existir cambios en la volatilidad del resto de las variables. Por ejemplo, si cuando se está comenzando un proyecto inmobiliario, por el contexto económico mundial es previsible un aumento de la volatilidad de los costes de materiales pero no en el resto de variables, se puede separar su volatilidad del resto y ver cómo afecta al VAN. Otra posibilidad, que es la que se ha estudiado en la Tesis, es separar la volatilidad del precio de la vivienda. Hay que recordar que lo que se está analizando no es un cambio en los precios al alza o a la baja, sino un aumento o disminución de la volatilidad de los precios.

Por último, la opción de escoger permite integrar en el mismo cálculo varias opciones como la de abandonar, expandir, contraer o continuar. Tras la explicación de todas las opciones y su adaptación al negocio inmobiliario, se observa que en general no son excluyentes sino que pueden aparecer al mismo tiempo, y el gerente podrá escoger la que más le convenga en función de la evolución del mercado y del proyecto. Se observa cómo la suma de las opciones por separado no es igual a la suma de las opciones conjuntamente, ya que interaccionan unas con otras. Esto debe ser tenido muy en

## 7. CONCLUSIONES

cuenta, ya que si se estudiara un proyecto concreto en el que no estuvieran las cuatro opciones estudiadas en el ejemplo de la Tesis, sería necesario escribir un nuevo script para calcularlas, o también adaptar los parámetros que tiene que introducir al desarrollado en la Tesis para anular de forma indirecta alguna de las cuatro, ya que lo que no puede hacerse bajo ningún concepto es el uso de los scripts individuales por separado, porque sobrevaloraría el proyecto. Es muy interesante también el análisis de Monte Carlo en función del parámetro  $\mu$ , en el que se contabilizan el número de expansiones, reducciones o abandonos que se producen, observando que el número de expansiones aumenta con el valor de  $\mu$  y el de abandonos cuando disminuye, manteniéndose relativamente estable el de reducciones.

Los resultados de cada opción varían en función de las condiciones de partida de cada una de ellas, por lo que no son directamente comparables incluso dentro del mismo proyecto, ya que obedecen a condiciones particulares. En los resultados obtenidos para el proyecto analizado en la Tesis, sí que destaca entre las de mayor aumento de la rentabilidad la opción escoger, con un gran incremento del beneficio debido a su flexibilidad, así como la de aprendizaje. También destacan entre las de menor incremento de valor, la de flexibilidad tecnológica y la de expansión, debido a que tienen que hacer inversiones para poder aprovecharlas.

El análisis de opciones reales debe integrarse por lo tanto en cualquier análisis de rentabilidad de una promoción inmobiliaria, de forma que se valore correctamente el potencial de cualquier proyecto. Este análisis se hace más necesario en aquellos en los que el VAN es cercano a cero, ya que el uso de opciones reales puede hacer que muchos proyectos que se consideraban no rentables pasen a serlo y se aproveche el verdadero potencial que tienen. Está claro que la dificultad para obtener los datos y los parámetros necesarios para introducir en los scripts hace que deban ser calculados previamente al momento de hacer el análisis, como un trabajo continuo a realizar por el gerente en su día a día. También debe ser hecho previamente el estudio del funcionamiento de los scripts y el significado real de las opciones reales, así como su analogía con las opciones financieras, ya que una interpretación equivocada llevaría a resultados erróneos y a subestimar los riesgos de un proyecto.

## 8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

La podredumbre se extiende por el Estado y el dulce olor es una desgracia para el campo. Hombres que pueden hacer injertos en los árboles y hacer la semilla fértil y grande, no saben cómo hacer para dejar que gente hambrienta coma los productos. Hombres que han creado nuevos frutos en el mundo no pueden crear un sistema para que sus frutos se coman. Y el fracaso se cierne sobre el Estado como una enorme desgracia.

Los frutos de las raíces de las vides, de los árboles, deben destruirse para mantener los precios y esto es lo más triste y lo más amargo de todo.

Eso es un crimen que va más allá de la denuncia. Es una desgracia que el llanto no puede simbolizar. Es un fracaso que supera todos nuestros éxitos. La tierra fértil, las rectas hileras de árboles, los robustos troncos y la fruta madura. Y niños agonizando de pelagra deben morir por no poderse obtener un beneficio de una naranja. Y los forenses tienen que rellenar los certificados, murió de desnutrición, porque la comida debe pudrirse, a la fuerza debe pudrirse.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

En la Tesis se han obtenido varias conclusiones que contribuyen al avance de la investigación de las opciones reales en general y en su aplicación a proyectos inmobiliarios en particular. Pero también han aparecido nuevas líneas de investigación o tareas que se ha considerado conveniente no desarrollar en este momento y dejar para trabajos futuros.

- Añadir más flexibilidad en la cuenta de explotación, permitiendo aleatoriedad en el inicio, duración y finalización de las tareas en base a distribuciones estadísticas sencillas como la Uniforme o Triangular, o con otras más complejas.
- Incorporar en el cálculo de los árboles binomiales la posibilidad de pago de dividendos o pérdida de flujos de caja.
- Crear scripts para el cálculo de las “griegas” o sensibilidades de las opciones a los cambios de sus parámetros. Este punto es de gran interés porque permitirá ver la influencia en el VAN de los parámetros medidos por el valor de las “griegas”. En el apéndice A se desarrolla su cálculo para opciones financieras, no para opciones reales.
- Continuar con la mejora de los scripts. Uno de los posibles puntos de desarrollo sería que ofrecieran entre los resultados, los árboles con la decisión que se toma

## 8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

en cada nodo. También se debe seguir escribiendo el código para que en todos los tipos de opciones se calcule el valor de la opción por simulación de Monte Carlo según el valor del parámetro  $\mu$  del modelo Lognormal.

- En la opción de escoger se ha supuesto que todas las opciones individuales tienen el mismo tiempo de vigencia. Esto no tiene por qué ser así, pudiendo expirar antes unas opciones que otras en función de las características del proyecto o las oportunidades de compra o venta.
- Añadir la Teoría de Juegos al estudio de las opciones reales. Ya existen investigaciones en este campo con resultados que invitan a continuar por este camino.
- En la sección 4.5 se han analizado los riesgos de un proyecto inmobiliario. Su influencia en el proyecto se ha contemplado de forma agregada, pero se podrían plantear investigaciones de cómo afectan estos riesgos por separado, de forma que se investigará más a fondo en los riesgos más importantes.
- El modelo escogido, el Lognormal, como se ha comprobado es adecuado para el estudio del comportamiento del precio de la vivienda, pero se puede intentar mejorar el modelo añadiéndole más variables, o utilizar otros de los comentados en la Tesis y que han sido utilizados con éxito por otros autores en sus investigaciones.
- El cálculo de la volatilidad es el más difícil de todas las variables que influyen en las opciones reales. Se debe continuar investigando cuál de los métodos expuestos es el que mejor se adapta a los proyectos inmobiliarios o encontrar otras vías para su estimación.
- En la opción escoger se ha comprobado que existen interacciones entre las opciones que hace que la suma del valor del conjunto de opciones presentes no sea la misma que la suma de los valores de cada una por separado. Se puede profundizar en el estudio de dichas interacciones entre las opciones cuando haya varias en un mismo proyecto para tratar de maximizar su valor.
- Por último, en la Tesis se ha utilizado para el cálculo de los árboles binomiales un paso de un año, aunque los scripts redactados permiten pasos más pequeños o grandes. Se puede estudiar la influencia del tamaño del paso en el resultado final, así como también la del número de iteraciones en las simulaciones de Monte Carlo.

# A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

Y se quedan inmóviles y ven las patatas pasar flotando, escuchan chillar a los cerdos cuando los meten en una zanja y los cubren con cal viva, miran las montañas de naranjas escurrirse hasta rezumar podredumbre; y en los ojos de la gente se refleja el fracaso; y en los ojos de los hambrientos hay una ira creciente. En las almas de las personas las uvas de la ira se están llenando y se vuelven pesadas, cogiendo peso, listas para la vendimia.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

En este apéndice se va a exponer el cálculo de las Griegas o sensibilidades de las opciones financieras. Aunque son de una gran importancia, dentro de esta Tesis no se ha considerado conveniente su aplicación a las opciones reales ya que dada la gran cantidad de consideraciones que pueden hacerse se escapa de su alcance y se ha planteado como línea de investigación futura. Pero sí que es conveniente su exposición, de modo que el lector pueda ver su gran potencia.

## A.1. LAS GRIEGAS O SENSIBILIDADES DE UNA OPCIÓN.

Las Griegas se definen como las sensibilidades del precio de una opción al cambio de una unidad en el valor de un parámetro concreto. Los valores de estas sensibilidades representan diferentes dimensiones del riesgo de una opción. Entre sus aplicaciones, se puede destacar que permiten que una institución financiera que vende opciones a sus clientes pueda gestionar su propio riesgo.

Para obtener una determinada Griega respecto a una variable, se debe derivar parcialmente la ecuación de Black - Scholes respecto a esa variable. Los procedimientos y reglas seguidos para la derivación se han obtenido de [Herrero de Egaña et al. \(2011\)](#). En primer lugar se van a obtener algunos resultados y se hacen algunas aclaraciones útiles para los posteriores cálculos.

La ecuación de Black - Scholes para opciones *call* se recogía en la ecuación 3.13:

$$C = N(d_1) \cdot S_0 - N(d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \quad (\text{A.1})$$

siendo  $d_1$  y  $d_2$ :

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + t \cdot \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)}{\sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (\text{A.2})$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (\text{A.3})$$

La ecuación de Black-Scholes para opciones *put* se recogía en la ecuación 3.16:

$$P = X \cdot e^{-r \cdot T} - S_t + C \quad (\text{A.4})$$

La función de distribución Normal se define como:

$$N(x) = P(x \leq X)$$

Por lo que

$$N(d_1) = \int_{-\infty}^{d_1} f(u) \cdot du = \int_{-\infty}^{d_1} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du$$

Y al ser simétrica la función de densidad:

$$N(-x) = 1 - N(x) \quad (\text{A.5})$$

La derivada de  $N(d_1)$  respecto a  $d_1$  (usando también la ecuación A.3) es:

$$N'(d_1) = \frac{\partial N(d_1)}{\partial d_1} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{d_1^2}{2}} \quad (\text{A.6})$$

La derivada de  $N(d_2)$  respecto a  $d_2$  es:

$$\begin{aligned} N'(d_2) &= \frac{\partial N(d_2)}{\partial d_2} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{d_2^2}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T})^2}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{d_1^2}{2}} \cdot e^{d_1 \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \cdot e^{-\frac{\sigma^2 \cdot T}{2}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{d_1^2}{2}} \cdot e^{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2\right) \cdot T} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{d_1^2}{2}} \cdot \frac{S}{X} \cdot e^{r \cdot T} = N'(d_1) \cdot \frac{S}{X} \cdot e^{r \cdot T} \\ N'(d_2) &= N'(d_1) \cdot \frac{S}{X} \cdot e^{r \cdot T} \end{aligned} \quad (\text{A.7})$$

Derivando la ecuación  $d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T}$ , se deducen las siguientes relaciones:

$$\frac{\partial d_1}{\partial S} = \frac{\partial d_2}{\partial S} = \frac{1}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (\text{A.8})$$

$$\frac{\partial d_2}{\partial t} = \frac{\partial d_1}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{T}} \quad (\text{A.9})$$

$$\frac{\partial d_2}{\partial \sigma} = \frac{\partial d_1}{\partial \sigma} - \sqrt{T} \quad (\text{A.10})$$

$$\frac{\partial d_2}{\partial r} = \frac{\partial d_1}{\partial r} \quad (\text{A.11})$$

## A.2. CÁLCULO DE DELTA, $\Delta$

La Delta,  $\Delta$ , mide la sensibilidad o tasa de cambio del precio de la opción a cambios en el precio del subyacente. Por lo tanto, indica el aumento que tendrá el precio de la opción debido al aumento de una unidad monetaria en el precio del subyacente. Para una opción *call* se define como:

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} \quad (\text{A.12})$$

Para hacer la derivada, se debe recordar que dentro de  $d_1$  y  $d_2$  está también la variable  $S$ , por lo que se deriva la ecuación A.1:

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} = \frac{\partial (N(d_1) \cdot S_0 - N(d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot T})}{\partial S} = N(d_1) + N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial S} \cdot S - N'(d_2) \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot \frac{\partial d_2}{\partial S}$$

Con la ecuación A.7:

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} = N(d_1) + N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial S} \cdot S - S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial S}$$

Con la ecuación A.8:

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} = N(d_1) + N'(d_1) \cdot \frac{1}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \cdot S - S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{1}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}}$$

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} = N(d_1) \quad (\text{A.13})$$

Para una opción *put*, por lo tanto, la Delta se define como:

$$\Delta_P = \frac{\partial P}{\partial S} \quad (\text{A.14})$$

Por lo que derivando la ecuación A.4 se obtiene usando la ecuación A.5:

$$\Delta_P = \frac{\partial (X \cdot e^{-r \cdot t} - S_t + C)}{\partial S} = -1 + \frac{\partial C}{\partial S} = -1 + N(d_1) = -N(-d_1) \quad (\text{A.15})$$

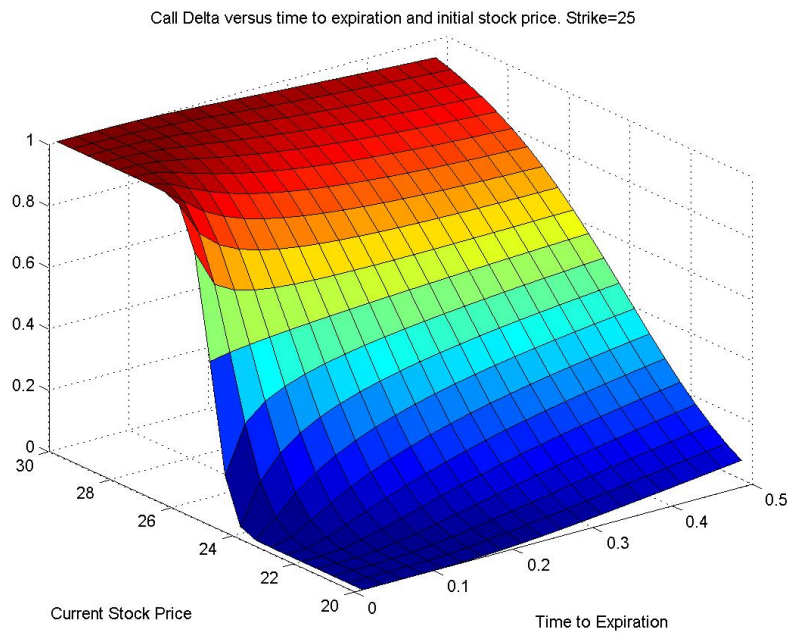
En la figura A.1 se observa de forma gráfica, el comportamiento de la Delta con *strike* 25 y volatilidad del 20% en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017).

Es decir, como  $N(d_1)$  es la función de distribución Normal, Delta en una *call* tenderá hacia 1 si el precio del subyacente crece, (hacia -1 en una *put*), y tenderá hacia 0 en ambas si decrece, siendo 0,5 cuando el precio está *At The Money*, (en adelante ATM) (-0,5 en una *put*).

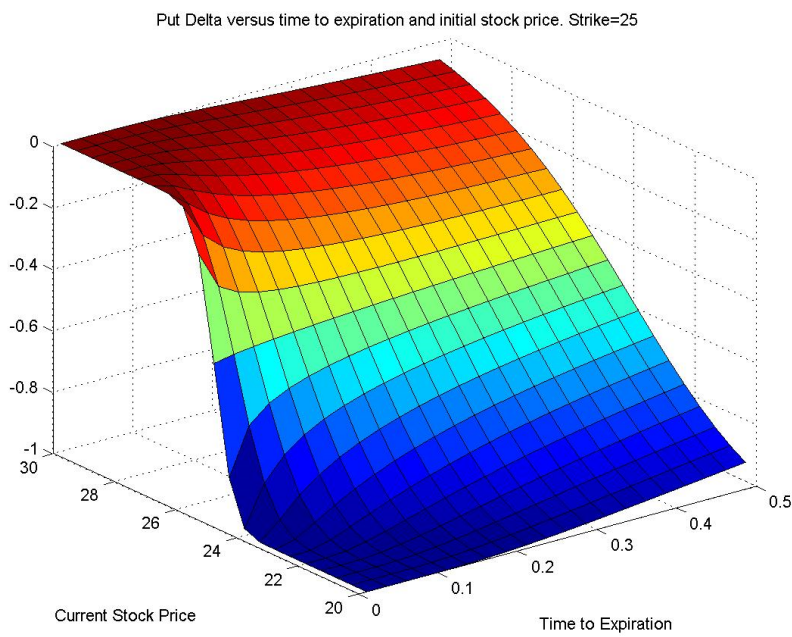
En la figura A.1 se observa como a medida que se acorta el tiempo restante hasta el vencimiento, el valor temporal de la opción disminuye y, correspondientemente, la Delta de una opción ITM se incrementa mientras que la Delta de las opciones *Out The*



## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS



(a) Valor de Delta para una opción *call*



(b) Valor de Delta para una opción *put*

Figura A.1.: Valor de Delta en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017)

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

*Money* (en adelante OTM) disminuye. Por otra parte, cuando la volatilidad crece, el valor temporal crece causando aumentos en la Delta de las opciones OTM y disminuciones en la Delta de las opciones ITM (Devarajan *et al.*, 2012).

### A.3. CÁLCULO DE GAMMA, $\Gamma$

La Gamma,  $\Gamma$ , es la sensibilidad o tasa de cambio de la Delta de una opción respecto a cambios en el precio del activo subyacente.

Se calcula como la segunda derivada del precio de una opción respecto al precio del subyacente. Es una medida de la curvatura de la relación entre el precio de la opción y el precio del activo. Para una opción *call* se define como:

$$\Gamma_C = \frac{\partial \Delta}{\partial S} = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} \quad (\text{A.16})$$

Derivando la ecuación A.13 y usando la A.8:

Para calcular la derivada, se debe recordar que dentro de  $d_1$  y  $d_2$  está también la variable  $S$ , por lo que se deriva la ecuación A.1:

$$\Gamma_C = \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial S} = N'(d_1) \cdot \frac{1}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (\text{A.17})$$

Para una opción *put*, se define como:

$$\Gamma_P = \frac{\partial \Delta}{\partial S} = \frac{\partial^2 P}{\partial S^2} \quad (\text{A.18})$$

Por lo que derivando la ecuación A.15:

$$\Gamma_P = \frac{\partial \left( -1 + \frac{\partial C}{\partial S} \right)}{\partial S} = \Gamma_C = N'(d_1) \cdot \frac{1}{S \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (\text{A.19})$$

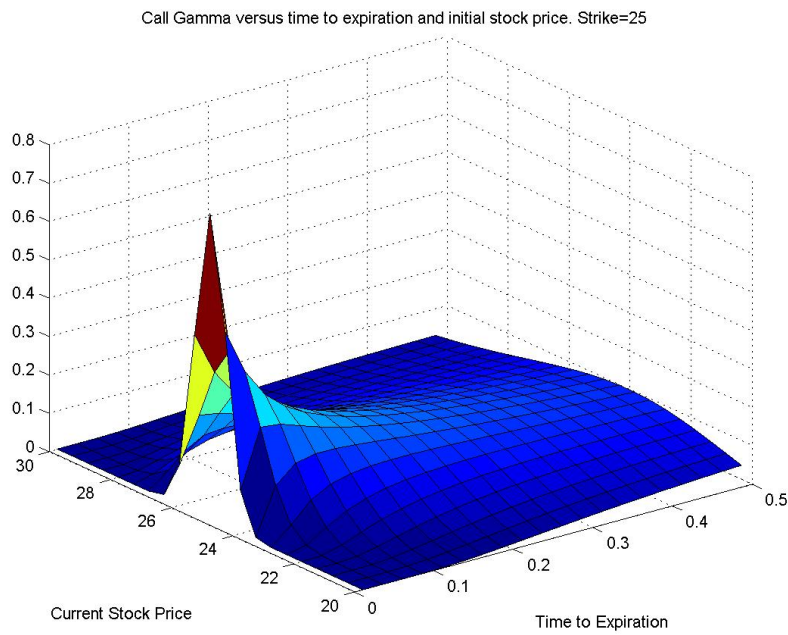
El valor de Gamma permite saber de forma más exacta, cómo cambiará el valor de la opción ante movimientos grandes del precio del subyacente, al tener en cuenta los efectos de segundo orden. Si se tiene en cuenta solo la Delta, no se contemplan los cambios que habrá en Delta al variar de forma elevada el precio del subyacente.

En la figura A.2 se observa de forma gráfica, el comportamiento de la Gamma con *strike* 25 y volatilidad del 20% en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017).

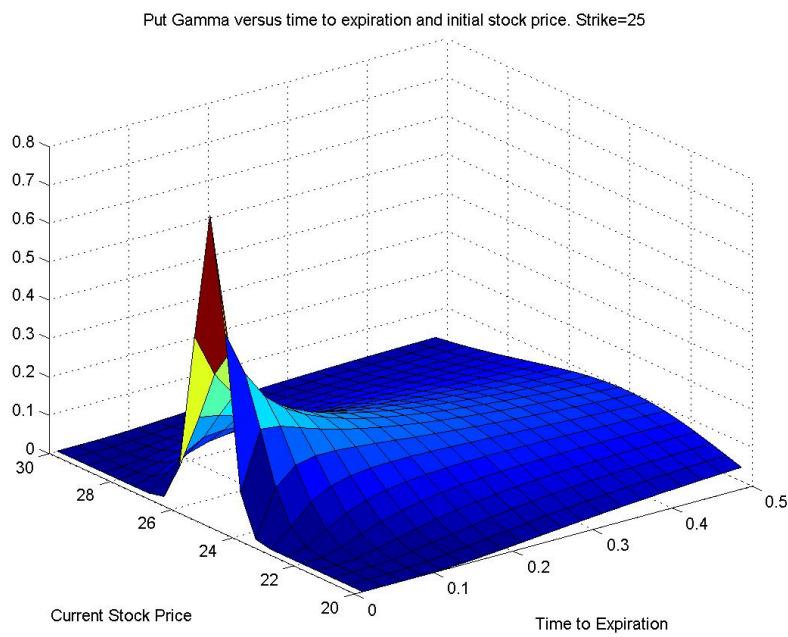
En la figura A.2, se puede comprobar, que Gamma por lo general, alcanza su máximo cuando la opción está ATM y decrece a medida que la opción está más ITM o OTM, donde tienen valores de Gamma cercanos a cero. Su comportamiento respecto al tiempo depende de si está ITM y OTM, disminuyendo a la vez que el tiempo, o si está ATM, donde aumenta si disminuye el tiempo.

Cuando la volatilidad es baja, la Gamma de una opción ATM es alta, mientras que para opciones muy ITM u OTM se acerca a cero. Esto se debe a que cuando la volatilidad

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS



(a) Valor de Gamma para una opción *call*



(b) Valor de Gamma para una opción *put*

Figura A.2.: Valor de Gamma en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017)

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

es baja, el valor temporal es bajo, pero se incrementa cuando está ATM. Pero cuando la volatilidad es alta, Gamma tiende a estabilizarse a lo largo de todos los *strikes*. Esto es debido a que cuando la volatilidad experimenta valores pico, el valor temporal de las opciones muy ITM y OTM ya es importante. Por lo tanto, el incremento en el valor temporal de dichas opciones a medida que se acercan al estado ATM será menos fuerte, por lo que más bajo y estable será su Gamma (Devarajan *et al.*, 2012).

### A.4. CÁLCULO DE THETA, $\Theta$

La Theta,  $\Theta$ , es la sensibilidad o tasa de cambio del precio de una opción respecto al paso del tiempo. La Theta mide la velocidad a la que las opciones pierden su valor, en concreto el valor temporal. Generalmente se expresa como un número negativo, reflejando la cantidad en que el valor de la opción disminuirá cada día:

$$\Theta_C = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (\text{A.20})$$

Para la derivada respecto al tiempo, se debe tener en cuenta que T es la medida del tiempo hasta la expiración, por lo que realmente supone un tiempo que discurre en "sentido contrario" al tiempo real, por lo que su derivada será negativa:

$$\Theta_C = \frac{\partial C}{\partial t} = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial t} - r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) - X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N'(d_2) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial t}$$

Con la ecuación A.7:

$$\begin{aligned} \Theta_C &= \frac{\partial C}{\partial t} = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial t} - r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) - S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial t} \\ \Theta_C &= \frac{\partial C}{\partial t} = -r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) + S \cdot N'(d_1) \cdot \left( \frac{\partial d_1}{\partial t} - \frac{\partial d_2}{\partial t} \right) \end{aligned}$$

Usando la ecuación A.9 y ordenando:

$$\Theta_C = \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{-\sigma \cdot S \cdot N'(d_1)}{\sqrt{T}} - r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) \quad (\text{A.21})$$

Para una opción *put*, se define como:

$$\Theta_P = \frac{\partial P}{\partial t} \quad (\text{A.22})$$

Por lo que derivando la ecuación A.4:

$$\begin{aligned} \Theta_P &= \frac{\partial (X \cdot e^{-r \cdot T} - S_t + C)}{\partial t} = r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} + \Theta_C \\ \Theta_P &= r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} + \frac{1}{2} \cdot \frac{-\sigma \cdot S \cdot N'(d_1)}{\sqrt{T}} - r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) \end{aligned}$$

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

$$\Theta_P = \frac{1}{2} \cdot \frac{-\sigma \cdot S \cdot N'(d_1)}{\sqrt{T}} + r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot (1 - N(d_2))$$

$$\Theta_P = \frac{1}{2} \cdot \frac{-\sigma \cdot S \cdot N'(d_1)}{\sqrt{T}} + r \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(-d_2) \quad (\text{A.23})$$

En la figura A.3 se observa de forma gráfica, el comportamiento de la Theta con *strike* 25 y volatilidad del 20% en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017).

Si se comparan las fórmulas, en las opciones *call*, el valor de Theta es mayor que en las *put* lo cual se aprecia en la figura A.3. Se observa que en las opciones a más largo plazo el valor de Theta es cercano a cero, pero aumenta en las ATM. Cuando el plazo disminuye su valor aumenta muchísimo, sobre todo en las ATM.

Por otra parte, las opciones de acciones de alta volatilidad tienen mayor Theta que las de baja volatilidad. Esto se debe a que la prima de valor temporal de estas opciones es más alta y por lo que tienen más que perder por día (Devarajan *et al.*, 2012).

### A.5. CÁLCULO DE VEGA, $\nu$

La Vega, es la sensibilidad o tasa de cambio del precio de una opción respecto a cambios en la volatilidad del subyacente. Vega no es una letra del alfabeto griego, por lo que se representa por la letra "nu",  $\nu$ . Indica el aumento del precio por cada cambio en un 1% en la volatilidad. Para una *call*, se define como:

$$\nu_C = \frac{\partial C}{\partial \sigma} \quad (\text{A.24})$$

Usando las ecuaciones A.7 y A.10:

$$\nu_C = \frac{\partial C}{\partial \sigma} = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial \sigma} - X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N'(d_2) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial \sigma}$$

$$\nu_C = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial \sigma} - S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial \sigma} = S \cdot N'(d_1) \cdot \left( \frac{\partial d_1}{\partial \sigma} - \frac{\partial d_2}{\partial \sigma} \right)$$

$$\nu_C = S \cdot N'(d_1) \cdot \sqrt{T} \quad (\text{A.25})$$

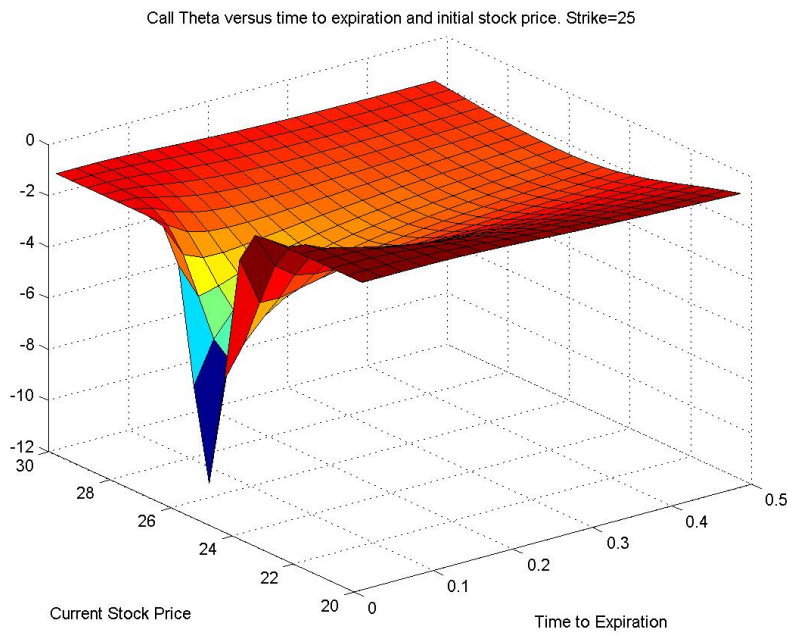
Para una opción *put*, se define como:

$$\nu_P = \frac{\partial P}{\partial \sigma} \quad (\text{A.26})$$

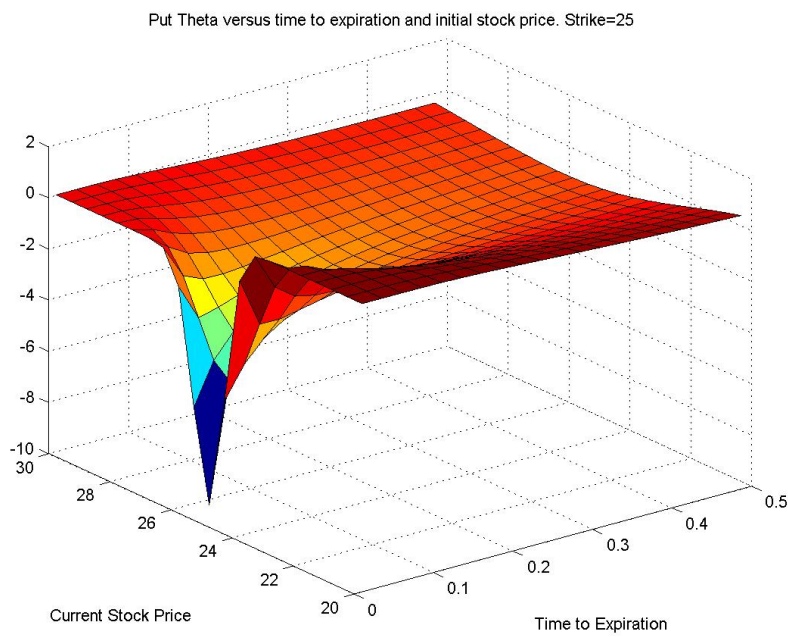
Por lo que derivando la ecuación A.4:

$$\nu_P = \frac{\partial (X \cdot e^{-r \cdot T} - S_t + C)}{\partial \sigma} = \nu_C \quad (\text{A.27})$$

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS



(a) Valor de Theta para una opción *call*



(b) Valor de Theta para una opción *put*

Figura A.3.: Valor de Theta en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017)

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

En la figura A.4 se observa de forma gráfica, el comportamiento de la Vega con *strike* 25 y volatilidad del 20% en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017).

La Vega siempre es positiva, es decir, el precio de las *call* y *put* aumenta si sube la volatilidad y disminuye si baja. El valor de Vega es mayor para acciones ATM que para acciones ITM u OTM. Además es mayor cuanto más tiempo queda para el vencimiento (Devarajan *et al.*, 2012).

### A.6. CÁLCULO DE RHO, $\rho$

La Rho,  $\rho$ , es la sensibilidad o tasa de cambio del valor de la opción con respecto a la tasa de interés. Indica el aumento del precio por cada cambio en un 1% en el tipo de interés. Para una *call*, se define como:

$$\rho_C = \frac{\partial C}{\partial r} \quad (\text{A.28})$$

Usando las ecuaciones A.7 y A.11:

$$\rho_C = \frac{\partial C}{\partial r} = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial r} + T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) - X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N'(d_2) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial r}$$

$$\rho_C = S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_1}{\partial r} + T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) - S \cdot N'(d_1) \cdot \frac{\partial d_2}{\partial r}$$

$$\rho_C = T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) + S \cdot N'(d_1) \cdot \left( \frac{\partial d_1}{\partial r} - \frac{\partial d_2}{\partial r} \right)$$

$$\rho_C = T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2) \quad (\text{A.29})$$

Para una opción *put*, se define como:

$$\rho_P = \frac{\partial P}{\partial r} \quad (\text{A.30})$$

Por lo que derivando la ecuación A.4:

$$\rho_P = \frac{\partial (X \cdot e^{-r \cdot T} - S_t + C)}{\partial r} = -T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} + \frac{\partial C}{\partial r}$$

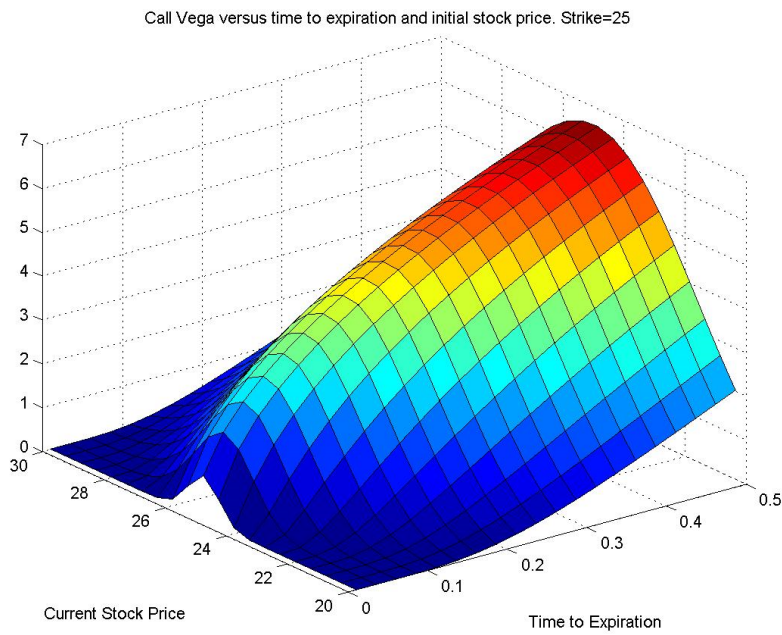
$$\rho_P = -T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} + T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(d_2)$$

$$\rho_P = T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot (N(d_2) - 1)$$

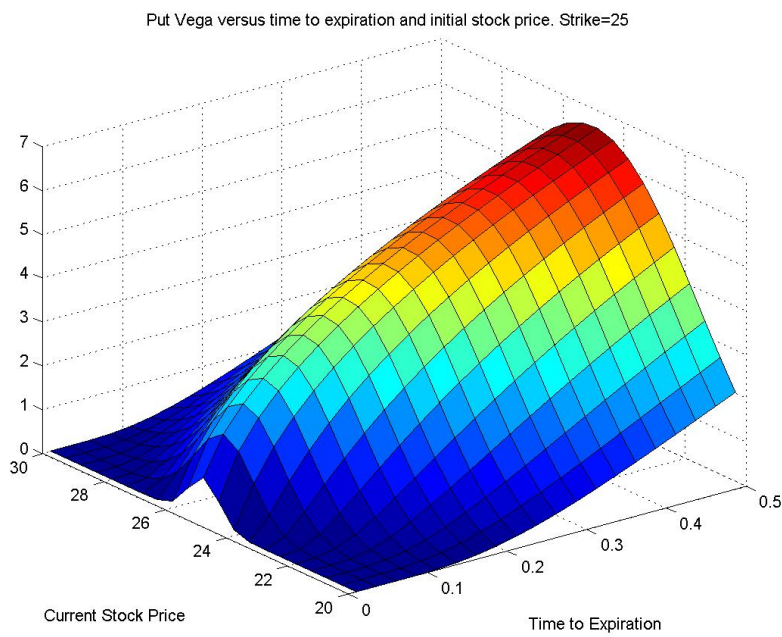
$$\rho_P = -T \cdot X \cdot e^{-r \cdot T} \cdot N(-d_2) \quad (\text{A.31})$$



## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS



(a) Valor de Vega para una opción *call*

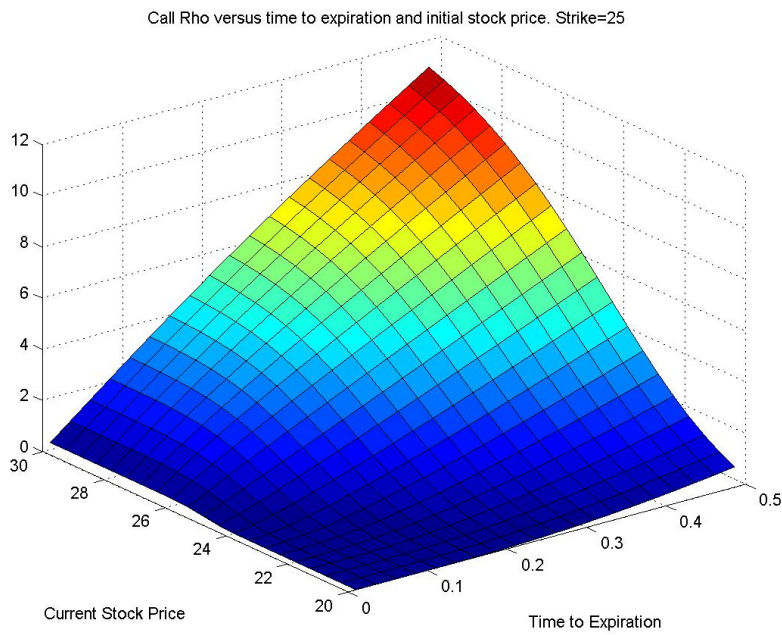


(b) Valor de Vega para una opción *put*

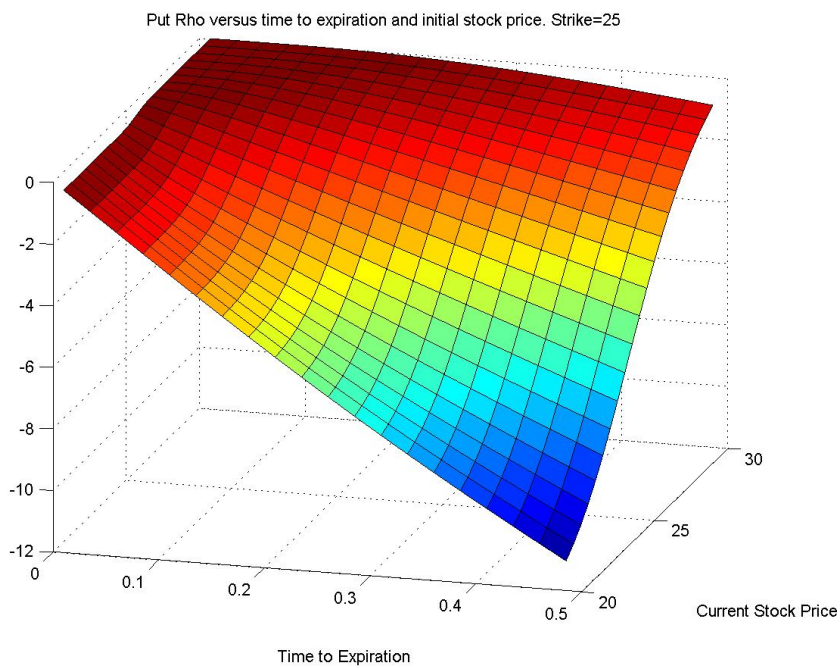
Figura A.4.: Valor de Vega en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017)



## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS



(a) Valor de Rho para una opción *call*



(b) Valor de Rho para una opción *put*

Figura A.5.: Valor de Rho en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017)

## A. CÁLCULO DE LAS GRIEGAS EN OPCIONES FINANCIERAS

En la figura A.5 se observa de forma gráfica, el comportamiento de la Rho con *strike* 25 y volatilidad del 20% en función del precio del subyacente y del tiempo hasta el vencimiento (Murray, 2017).

Rho es mayor para las opciones ITM y disminuye a medida que la opción se mueve hacia OTM. El valor de Rho también aumenta con el tiempo hasta el vencimiento. Esto es porque al estar relacionada con el tipo de interés, representa el coste de tener una opción y este aumenta con el tiempo y el valor de la opción (Devarajan *et al.*, 2012).

## B. CÓDIGO EN R

Y las dos mujeres se miraron profundamente la una a la otra. La respiración de la muchacha era entrecortada. Ella dijo: Sí.

Madre sonrió. Sabía que lo harías. ¡Lo sabía!, miró sus manos, entrelazadas en su regazo.

Rose of Sharon susurró: ¿Podéis..., podéis salir todos?

La lluvia caía lentamente en el tejado.

---

*Las uvas de la ira*  
JOHN STEINBECK

### B.1. EVOLUCIÓN DE PRECIO SEGÚN DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL

El siguiente script permite analizar los datos según la distribución Lognormal y predecir su evolución mediante dos vías, fórmulas cerradas y simulación de Monte Carlo. Se deben cargar los paquetes de R ([R Core Team, 2016](#)), [readxl \(Wickham, 2016\)](#), [fitdistrplus \(Delignette-Muller y Dutang, 2015\)](#) y [mc2d \(Pouillot y Delignette-Muller, 2010\)](#).

```
##Script para modelar precios de vivienda con la distribución lognormal
rm(list = ls(all = TRUE))
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel
#En segundo lugar se debe cambiar el directorio de trabajo. Lo más sencillo
#desde Archivo -> Cambiar dir...
#Se guarda en directorio la ruta del directorio de trabajo
directorio <- getwd()
#Se guarda en archivo el nombre del archivo donde están los datos anteponiendo una /
archivo <- "/vivienda.xlsx"
#Se guarda la ruta concatenándola
ruta <- paste0(directorio, archivo)
#Se leen los datos (con skip se saltan las filas innecesarias, ver tutorial)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 3)
#Se seleccionan solo las variables que interesan
datos <- data.frame(datos$Fecha, datos$Precio)
datos
#Se vinculan las variables con un vector
attach(datos)
#A continuación se calcula un vector con la tasa de crecimiento del precio
#para lo cual se crean variables auxiliares para desfasar los precios
precio1 <- c(0, datos.Precio)
```

## B. CÓDIGO EN R

```
precio2 <- c(datos.Precio, 0)
ratio <- precio2 / precio1
#Se eliminan el primero y el último valor ya que no tienen sentido
ratio <- ratio[-c(1, length(ratio))]
ratio
#Se calcula el logaritmo neperiano de la ratio
logratio <- log(ratio)
## Se va a comprobar si los datos se ajustan a una distribución
#Normal o lognormal "norm", "lnorm". Se debe cargar el paquete fitdistrplus
#En primer lugar los datos sin tratar a ambas
fitn <- fitdist(datos.Precio, "norm")
summary(fitn)
plot(fitn)
fitl <- fitdist(datos.Precio, "lnorm")
summary(fitl)
plot(fitl)
#En segundo lugar los datos tratados
fitn <- fitdist(ratio, "norm")
summary(fitn)
plot(fitn)
fitl <- fitdist(ratio, "lnorm")
summary(fitl)
plot(fitl)
##Se comienza con el análisis como lognormal
#Se calcula  $a = \mu - 0.5 * \sigma^2$  con la media de logratio
a <- mean(logratio)
a
#Se calcula sigma
sigma <- sd(logratio)
sigma
#Se calcula mu
mu <- a + 0.5 * sigma ^ 2
mu
#En este caso es necesario transformarlas a anuales porque están en trimestrales
muanual <- mu * 4
muanual
sigmaanual <- sigma * 4 ^ 0.5
sigmaanual
#Se va a calcular la media del precio dentro de un determinado tiempo a elegir por el usuario
"Introduce el año en el que deseas saber la media del precio"
t <- scan(n = 1)
t
#Calcula la media del valor del precio para el tiempo solicitado
"Precio actual"
S0 <- datos.Precio[length(datos.Precio)]
"La media del precio será:"
St <- S0 * exp(muanual * t)
St
"La desviación estándar será"
des <- (S0 ^ 2 * exp(2 * muanual * t) * (exp(sigmaanual ^ 2 * t) - 1)) ^ 0.5
des
#A continuación se calcula con el método de Monte Carlo
#En primer lugar se inicializan variables
"Introduce número de escenarios"
```

## B. CÓDIGO EN R

```
escen <- scan(n = 1)
escen
S <- S0
#Los cálculos se hacen en logaritmos neperianos
LNS <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
for (i in 1 : t) {
  #Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  IS <- (muanual - 0.5 * sigmaanual ^ 2) * 1 + sigmaanual * 1 ^ 0.5 *qnorm(runif(escen))
  LNS <- LNS + IS
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
S <- exp(LNS)
S
"La media con simulación es"
mean(S)
"La desviación estándar con simulación es"
sd(S)
"La varianza será"
var(S)
"El error estándar es"
sd(S) / sqrt(length(S))
"La mediana es"
median(S)
"El valor máximo obtenido en la simulación es"
max(S)
"El valor mínimo obtenido en la simulación es"
min(S)
"Los percentiles de 5, 25, 50, 75, 95 son"
p <- c(0.05, 0.25, 0.50, 0.75, 0.95)
percentiles <- c(quantile(S, p))
percentiles
```

### B.2. FÓRMULA DE BLACK-SCHOLES

El siguiente script permite calcular el precio de una opción *call* o una opción *put* con la fórmula de Black-Scholes. También permite calcular la volatilidad implícita en el caso de que se conozca el precio de la opción. Al final del script realiza el cálculo del precio de la opción con el paquete `fOptions`, lo cual sirve como comprobación e introducción para otros scripts. Se deben cargar los paquetes de R ([R Core Team, 2016](#)), `readxl` ([Wickham, 2016](#)) y `fOptions` ([Rmetrics Core et al., 2015](#)).

```
##Script para el cálculo del precio de una opción mediante la fórmula de Black-Scholes
rm(list = ls(all = TRUE))
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel
#Para leer los datos se sigue el mismo procedimiento que en el script B1 lognormal.R
directorio <- getwd()
archivo <- "/DatosBlack-Scholes.xlsx"
ruta <- paste0(directorio, archivo)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 0)
```

## B. CÓDIGO EN R

```
datos
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio de ejercicio
X <- as.numeric(datos[2, 2])
#Duración en años
t <- as.numeric(datos[3, 2])
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad
sigma <- as.numeric(datos[5, 2])
#Tipo de opción Call = c ó Put = p
tipo <- datos[6, 2]
#Si el precio de la opción se conoce precio, si no "0"
preciocon <- as.numeric(datos[7, 2])
#Se define la función para calcular precio de opción call
fcall <- function(sigma) {
  d1 <- (log(S / X) + t * (r + sigma ^ 2 / 2)) / (sigma * (t ^ 0.5))
  d2 <- d1 - sigma * t ^ 0.5
  pcall <- pnorm(d1) * S - pnorm(d2) * X * exp(-r * t) - preciocon
  return(pcall)
}
#Se define la función para calcular precio de opción put
fput <- function(sigma) {
  d1 <- (log(S / X) + t * (r + sigma ^ 2 / 2)) / (sigma * (t ^ 0.5))
  d2 <- d1 - sigma * t ^ 0.5
  pput <- -pnorm(-d1) * S + pnorm(-d2) * X * exp(-r * t) - preciocon
  return(pput)
}
#Si precio conocido es igual a 0 se calcula el precio de la call
if (preciocon == 0) {
  if (tipo == "c") {
    fcall(sigma)
  } else if (tipo == "p") {
    fput(sigma)
  }
} else {
  #si precio conocido no es igual a cero se calcula el valor de la volatilidad implícita
  if (tipo == "c") {
    volatimp <- uniroot(fcall, c(0, 1))
  } else if (tipo == "p") {
    volatimp <- uniroot(fput, c(0, 1))
  }
  volatimp$root
}
#Utilizando paquete fOptions para opciones europeas
GBSOption(TypeFlag = tipo, S = S, X = X, Time = t, r = r, b = r, sigma = sigma)
#Utilizando paquete fOptions para opciones americanas
BAWAmericanApproxOption(TypeFlag = tipo, S = S, X = X, Time = t,
  r = r, b = r, sigma = sigma, title = NULL, description = NULL)
```

### B.3. CÁLCULO DE OPCIONES CON EL MÉTODO DE MONTE CARLO

El siguiente script permite calcular el precio de una opción *call* o *put* mediante el método de Monte Carlo. Se deben cargar los paquetes de R (R Core Team, 2016), *readxl* (Wickham, 2016) y *fOptions* (Rmetrics Core et al., 2015).

```
##Este script calcula el precio de una opción por simulación de Monte Carlo
rm(list = ls(all = TRUE))
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel
#Para leer los datos se sigue el mismo procedimiento que en el script lognormal.R
directorio <- getwd()
archivo <- "/DatosOpcMont.xlsx"
ruta <- paste0(directorio, archivo)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 0)
datos
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio de ejercicio
X <- as.numeric(datos[2, 2])
#Duración en años
t <- as.numeric(datos[3, 2])
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad
sigmaannual <- as.numeric(datos[5, 2])
#Parámetro muanual
muanual <- as.numeric(datos[6, 2])
#Tipo de opción Call = c ó Put = p
tipo <- datos[7, 2]
#Número de escenarios
escen <- as.numeric(datos[8, 2])
#A continuación se calcula con el método de Monte Carlo
#Los cálculos se hacen en logaritmos neperianos
LNS <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
for (i in 1 : t) {
#Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  IS <- (muanual - 0.5 * sigmaannual ^ 2) * 1 + sigmaannual * 1 ^ 0.5 * qnorm(runif(escen))
  LNS <- LNS + IS
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
S <- exp(LNS)
S
#Se comprueba que valores están por encima o por debajo del precio de ejercicio
#y en función de si es Call o Put, se resta el precio de ejercicio o al precio
#de ejercicio, haciendo el valor cero si es negativo
if (tipo == "c") {
  FC <- S - X
} else {
  FC <- X - S
}
FC
```

## B. CÓDIGO EN R

```
FC[FC < 0] <- 0
FC
#Se calcula el valor descontado de los flujos de caja
VA <- exp(-t * r) * FC
#Se calcula el precio de la opción como la media de los valores actualizados
mean(VA)
```

En el siguiente script se utiliza `fOptions` para hacer el mismo cálculo. Se ha adaptado el script que aparece en el manual de [Rmetrics Core et al. \(2015\)](#).

```
## Simulación de Monte Carlo con fOptions
rm(list = ls(all = TRUE))
#Para leer los datos se sigue el mismo procedimiento que en el script lognormal.R
directorio <- getwd()
archivo <- "/DatosOpcMont.xlsx"
ruta <- paste0(directorio, archivo)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 0)
datos
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio de ejercicio
X <- as.numeric(datos[2, 2])
#Duración en años
Time <- as.numeric(datos[3, 2])
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad
sigma <- as.numeric(datos[5, 2])
#Parámetro mu
b <- as.numeric(datos[6, 2])
#Tipo de opción Call = c ó Put = c
TypeFlag <- datos[7, 2]
#Número de escenarios
mcSteps <- as.numeric(datos[8, 2])
#Se define una función para generar las simulaciones con numeros de Sobol
sobolInnovations = function(mcSteps, pathLength, init, ...) {
  #Se crean numeros aleatorios con sobol:
  innovations <- rnorm.sobol(mcSteps, pathLength, init, ...)
  innovations
}
#Se crea una función que simula un proceso de Wiener
wienerPath = function(eps) {
  path <- (b - sigma * sigma / 2) * delta.t + sigma * sqrt(delta.t) * eps
  path
}
#Se crea la función de pagos
plainVanillaPayoff = function(path) {
  ST <- S * exp(sum(path))
  if (TypeFlag == "c") payoff <- exp(-r * Time) * max(ST - X, 0)
  if (TypeFlag == "p") payoff <- exp(-r * Time) * max(0, X - ST)
  payoff
}
delta.t <- 1 / 360; pathLength <- floor(Time / delta.t)
# Se hace la simulación
```



## B. CÓDIGO EN R

```
mc <- MonteCarloOption(delta.t = delta.t, pathLength = pathLength, mcSteps = 5000,
mcLoops = 50, init = TRUE, innovations.gen = sobolInnovations,
path.gen = wienerPath, payoff.calc = plainVanillaPayoff,
antithetic = TRUE, standardization = FALSE, trace = TRUE,
scrambling = 2, seed = 4711)
# Se dibujan los resultados
par(mfrow = c(1, 1))
mcPrice = cumsum(mc) / (1 : length(mc))
plot(mcPrice, type = "l",
xlab = "Monte Carlo Loops", ylab = "Precio de la opción")
```

### B.4. CÁLCULO DE OPCIONES CON ÁRBOLES BINOMIALES

En este script se calculan las opciones con árboles binomiales, diferenciando si se trata de opciones americanas o europeas, o *calls* o *puts*. Se utiliza también `fOptions` (Rmetrics Core et al., 2015). Por último, se calcula el flujo de caja actualizado que se prevé que devolverá una opción utilizando simulación de Monte Carlo, y utilizando un método inspirado en el que sigue Winston (1999) para el cálculo de una *put* utilizando Excel, pero con sistema diferente. Se deben cargar los paquetes de R (R Core Team, 2016), `readxl` (Wickham, 2016) y `fOptions` (Rmetrics Core et al., 2015). Para el dibujo de los árboles binomiales se puede utilizar la función `BinomialTreePlot` que está incluida dentro del paquete `fOptions`, pero para una mejor salida de los gráficos en caso de números grandes es preciso modificarla.

```
## Script para crear un árbol binomial
rm(list = ls(all = TRUE))
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel
#Para leer los datos se sigue el mismo procedimiento que en el script lognormal.R
directorio <- getwd()
archivo <- "/Datosarbolc.xlsx"
ruta <- paste0(directorio, archivo)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 0)
datos
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio de ejercicio
X <- as.numeric(datos[2, 2])
#Duración en años
t <- as.numeric(datos[3, 2])
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad
sigmaannual <- as.numeric(datos[5, 2])
#Parámetro número de pasos
n <- as.numeric(datos[6, 2])
deltat <- t / n
#Tipo de opción Call = c ó Put = p
tipo <- datos[7, 2]
#Tipo de opción Europea = e ó Americana = a
```

## B. CÓDIGO EN R

```
tipo2 <- datos[8, 2]
#Parámetro muanual
muanual <- as.numeric(datos[9, 2])
#Se calcula u, d y p
u <- exp(sigmaanual * sqrt(deltat))
d <- 1 / u
p <- (exp(r * deltat) - d) / (u - d)
arbolini <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
#Se hace una función para calcular el árbol de la evolución del precio
farbol1 <- function(arbolini) {
  arbol1 <- arbolini
  #Se recorre la matriz por columnas
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
    for (j in 1 : i) {
      #Se multiplica S por u tantas veces como pasos dados menos desplazamientos en filas
      #y por d tantas veces como desplazamientos en filas
      arbol1[j, i] <- S * u ^ (i - j) * d ^ (j - 1)
    }
  }
  return(arbol1)
}
#Se define una función que calcula el árbol con el valor de la opción
#Se crea una matriz de ceros
farbol2 <- function(arbolini) {
  #Se crea una matriz de ceros
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
  arbol1 <- arbolini
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
  #que si se puede ejercer en el caso de que sea mayor su ejercicio
  #que el valor de la opción calculado
  if(tipo2 == 'e') {
    #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
    if(tipo == 'c') {
      #Si es tipo call se le resta el precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
      arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, 0)
      #Volviendo hacia atrás en el árbol se obtiene el valor de cada casilla a partir
      #de la fórmula de la probabilidad y la actualización con el tipo de interés
      #Se recorre la matriz por columnas
      for (i in n : 1) {
        #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
        for(j in i : 1) {
          arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
        }
      }
    }
  } else {
    #Si es tipo put se le resta al precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
    arbol2[, n + 1] <- pmax(X - arbol1[, n + 1], 0)
    #Se hace lo mismo que en el caso de call
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
}
} else {
  #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
  #en cualquier momento
  if(tipo == 'c') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, 0)
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(arbol1[j, i] - X, (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  } else {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(X - arbol1[, n + 1], 0)
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(X - arbol1[j, i], (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  }
}
return(arbol2)
}
arbol1 <- farbol1(arbolini)
arbol1
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
#Comprobación con fOptions
TypeFlag <- paste0(tipo, tipo2)
CRRBinomialTreeOption(TypeFlag = TypeFlag, S = S, X = X,
Time = t, r = r, b = r, sigma = sigmaannual, n = n)
## Dibujar el árbol con fOptions:
#Primero se obtienen los valores del árbol
valarbolgr = BinomialTreeOption(TypeFlag = TypeFlag, S = S, X = X,
Time = t, r = r, b = r, sigma = sigmaannual, n = n)
#Se dibujan con la función de dibujar
BinomialTreePlot(valarbolgr, dy = 1, cex = 0.8, ylim = c(-6, 7),
xlab = "n", ylab = "Valor de la opción")
title(main = "Árbol binomial")
if(tipo2 == 'a') {
  #Se obtiene cuáles son los retornos mediante simulación de Monte Carlo
  #Para ello se utiliza el código del script B3 Opciones Monte Carlo.R
  #Se crea una opción que permite que en el árbol1 aparezca el precio que interesa
  #Los parámetros son el árbol 1 original, el valor y la columna en la que se pondrá
  #El modo de cálculo del árbol es diferente que el utilizado en la primera función
  #partiendo de las casillas inmediatamente anteriores
  farbol1alt <- function(arbol1o, valor, colu) {
    arbolm <- arbol1o
    arbolm[1, colu] <- valor
    if (colu < (n + 1)) {
      for (i in (colu + 1) : (n + 1)) {
        for (j in 1 : i) {
          if (j == 1) {
```

## B. CÓDIGO EN R

```
        arbolm[j, i] <- arbolm[j, i - 1] * u
      } else {
        arbolm[j, i] <- arbolm[j - 1, i - 1] * d
      }
    }
  }
}
return(arbolm)
}
#En primer lugar se calcula año a año la evolución del precio del subyacente
#según un proceso lognormal y mediante Monte Carlo. Se inicializan variables
LNS <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
valorfin <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
valordes <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
invertido <- 0
abandono <- 0
LNS[, 1] <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
for (i in 2 : (n + 1)) {
  #Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  IS <- (muanual - 0.5 * sigmaannual ^ 2) * deltat + sigmaannual * deltat ^ 0.5 * qnorm(runif(1000))
  LNS[, i] <- LNS[, (i - 1)] + IS
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
LNS
Sevol <- exp(LNS)
Sevol
Sevoldef <- Sevol
#Tomando cada uno de los precios obtenidos se calcula cómo se ha comportado la opción
#es decir sí se ha ejecutado y el retorno final obtenido
if (tipo == "c") {
  continv <- 0
  #Se comienza por la evolución de cada precio fila a fila
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    invertido <- 0
    #El análisis se hace para cada uno de los precios de la simulación de Monte Carlo
    for (j in 2 : (n + 1)) {
      #Si todavía no se ha invertido se calculan los árboles con ese precio
      if (invertido == 0) {
        arbolini <- arbol1
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm)
        #Se comprueba si con ese precio se invierte
        if ((arbolm[1, j] - X) == arbol2m[1, j]) {
          #Si se invierte se pone como definitivo el último precio de la serie de Monte Carlo
          #se cuenta y se calculan los rendimientos obtenidos descontando el precio de ejercicio
          #se deben actualizar los valores de ejercicio y el valor definitivo hasta el inicio
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol[i, (j : (n + 1))]
          invertido <- 1
          continv <- continv + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] - X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else {
          #si no se ejecuta el valor del proyecto es cero

```



## B. CÓDIGO EN R

```
#Se crea una matriz de ceros
arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
arbol1 <- arbolini
#Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
#que si se puede ejercer
#en cualquier momento
if (tipo2 == 'e') {
  #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
  if (tipo == 'c') {
    #Se toma el máximo entre el valor si se amplía y el original
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1], arbol1[, n + 1] * (1 + fe) - X)
    #Volviendo hacia atrás en el árbol se obtiene el valor de cada casilla a partir
    #de la fórmula de la probabilidad y la actualización con el tipo de interés
    #Se recorre la matriz por columnas
    for (i in n : 1) {
      #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
      for (j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
} else {
  #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
  #en cualquier momento
  if (tipo == 'c') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1], arbol1[, n + 1] * (1 + fe) - X)
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(arbol1[j, i] * (1 + fe) - X, (p * arbol2[j, i + 1] +
          (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  }
}
return(arbol2)
}
```

Cálculo de retornos por Monte Carlo:

```
if (tipo == "c") {
  contexpan <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    expandido <- 0
    for (j in 2 : (n + 1)) {
      if (expandido == 0) {
        arbolini <- arbol1
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm)
        if ((arbolm[1, j] * (1 + fe) - X) == arbol2m[1, j]) {
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol[i, (j : (n + 1))] * (1 + fe)
          expandido <- 1
          contexpan <- contexpan + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] - X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        }
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
    } else {
      valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)]
      valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
    }
  }
}
}
}
valorfin
valordes
contexpan
"La media del flujo de caja obtenido con simulación es"
mean(valordes)
```

### B.4.2. Alteración para opción abandono

En el siguiente script se ofrece una alteración de la función `farbol2` de manera que se pueda calcular el valor del proyecto en la opción abandono en lugar del valor de la opción. Se observa que solo permite el cálculo para opción tipo *put*, porque para *call* no tiene sentido. También se ha modificado la parte final para el cálculo de Monte Carlo.

```
farbol2 <- function(arbolini) {
  #Se crea una matriz de ceros
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
  arbol1 <- arbolini
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
  #que si se puede ejercer
  #en cualquier momento
  if (tipo2 == 'e') {
    #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
    if (tipo == 'p') {
      #Si es tipo put se toma el máximo entre el valor original y el precio de venta
      arbol2[, n + 1] <- pmax(X, arbol1[, n + 1])
      #Se hace lo mismo que en el caso de call
      for (i in n : 1) {
        for (j in i : 1) {
          arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
        }
      }
    }
  }
} else {
  #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
  #en cualquier momento
  if (tipo == 'p') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(X, arbol1[, n + 1])
    for (i in n : 1) {
      for (j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(X, (p * arbol2[j, i + 1] +
          (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
}  
  return(arbol2)  
}
```

Cálculo de retornos por Monte Carlo:

```
if (tipo == "p") {  
  contaban <- 0  
  soloopcion <- 0  
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {  
    abandono <- 0  
    for (j in 2 : (n + 1)) {  
      if (abandono == 0) {  
        arbolini <- arbol1  
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)  
        arbol2m <- farbol2(arbolm)  
        if ((X) == arbol2m[1, j]) {  
          abandono <- 1  
          contaban <- contaban + 1  
          valorfin[i, 1] <- X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)  
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)  
          soloopcion <- soloopcion + valordes[i, 1] - Sevol[i, j] * exp(r * (n + 1 - j) *  
            deltat) * exp(-r * (n + 1) * deltat)  
        } else {  
          valorfin[i, 1] <- Sevol[i, (n + 1)]  
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)  
        }  
      }  
    }  
  }  
}  
valorfin  
valordes  
contaban  
soloopcion  
"La media del flujo de caja obtenido con simulación es"  
mean(valordes)
```

### B.4.3. Alteración para contraer

En el siguiente script se ofrece una alteración de la función `farbol2` de manera que se pueda calcular el valor del proyecto en la opción *contraer*. Como se puede comprobar solo se incluye la posibilidad de calcular para tipo *put* ya que la *call* no tiene sentido. En la hoja de datos se debe añadir la lectura del factor de contracción. También se aporta la modificación del cálculo final por Monte Carlo.

```
farbol2 <- function(arbolini) {  
  #Se crea una matriz de ceros  
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)  
  arbol1 <- arbolini  
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana  
  #que si se puede ejercer
```



## B. CÓDIGO EN R

```
#en cualquier momento
if (tipo2 == 'e') {
  #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
  if (tipo == 'p') {
    #Se toma el máximo entre el inicial y el proyecto contraído más la venta
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] * fr + X, arbol1[, n + 1])
    #Se hace lo mismo que en el caso de call
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
} else {
  #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
  #en cualquier momento
  if(tipo == 'p') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] * fr + X, arbol1[, n + 1])
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(arbol1[j, i] * fr + X, (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  }
}
return(arbol2)
}
```

Cálculo de retornos por Monte Carlo:

```
if (tipo == "p") {
  contreduc <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    reducido <- 0
    for (j in 2 : (n + 1)) {
      if (reducido == 0) {
        arbolini <- arbol1
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm)
        if ((arbolm[1, j] * fr + X) == arbol2m[1, j]) {
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol[i, (j : (n + 1))] * fr
          reducido <- 1
          contreduc <- contreduc + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] + X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else {
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)]
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        }
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
valorfin
valordes
contreduc
"La media del flujo de caja obtenido con simulación es"
mean(valordes)
```

### B.4.4. Alteración para flexibilidad tecnológica

En el siguiente script se ofrece una alteración del script general que permite valorar el cambio entre dos proyectos, para ello es necesario alterar la toma de datos, la función `farbol2` y otras zonas. Dados los numerosos cambios se ofrece el script completo, aunque eliminando los comentarios repetitivos respecto al original.

```
#Precio del subyacente primer proyecto
S1 <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio pagado si se cambia
X <- as.numeric(datos[2, 2])
t <- as.numeric(datos[3, 2])
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad primer proyecto
sigmaannual1 <- as.numeric(datos[5, 2])
#Parámetro número de pasos
n <- as.numeric(datos[6, 2])
deltat <- t / n
tipo <- datos[7, 2]
tipo2 <- datos[8, 2]
#Precio del subyacente del segundo proyecto
S2 <- as.numeric(datos[9, 2])
#Volatilidad del segundo proyecto
sigmaannual2 <- as.numeric(datos[10, 2])
#Parámetro muanual del primer proyecto
muanual1 <- as.numeric(datos[11, 2])
#Parámetro muanual del segundo proyecto
muanual2 <- as.numeric(datos[12, 2])
S <- S1
sigmaannual <- sigmaannual1
#Se calcula u, d y p
u <- exp(sigmaannual * sqrt(deltat))
d <- 1 / u
p <- (exp(r * deltat) - d) / (u - d)
arbolini <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
farbol1 <- function(arbolini) {
  arbol1 <- arbolini
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    for (j in 1 : i) {
      arbol1[j, i] <- S * u ^ (i - j) * d ^ (j - 1)
    }
  }
  return(arbol1)
}
farbol2 <- function(arbolini, arbolini2) {
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
```

## B. CÓDIGO EN R

```
arbol1 <- arbolini
arbol10 <- arbolini2
if (tipo2 == 'e') {
  if (tipo == 'c') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol10[, n + 1], arbol1[, n + 1] - X)
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  } else {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, arbol10[, n + 1])
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
} else {
  if (tipo == 'c') {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol10[, n + 1], arbol1[, n + 1] - X)
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(arbol10[j, i], (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  } else {
    arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, arbol10[, n + 1])
    for (i in n : 1) {
      for(j in i : 1) {
        arbol2[j, i] <- max(arbol10[j, i], (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      }
    }
  }
}
return(arbol2)
}
#Se calcula el árbol 1 del primer proyecto
arbol10 <- farbol1(arbolini)
arbol10
#Se calcula el árbol 1 del segundo proyecto
S <- S2
sigmaannual <- sigmaannual2
#Se calcula u, d y p con los datos del segundo proyecto
u <- exp(sigmaannual * sqrt(deltat))
d <- 1 / u
p <- (exp(r * deltat) - d) / (u - d)
arbolini <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
arbol1 <- farbol1(arbolini)
arbol1
arbol2 <- farbol2(arbol1, arbol10)
arbol2
```

## B. CÓDIGO EN R

```
#Se define una función alterada para modificar una casilla del arbol 1 y obtenerlo
# a partir de esa casilla con el arbol 1 original, el valor modificado y la fila
fربول1altput <- function(arbol1o, valor, colu) {
  arbolm <- arbol1o
  arbolm[1, colu] <- valor
  if (colu < (n + 1)) {
    for (i in (colu + 1) : (n + 1)) {
      for (j in 1 : i) {
        if (j == 1) {
          arbolm[j, i] <- arbolm[j, i - 1] * u
        } else {
          arbolm[j, i] <- arbolm[j - 1, i - 1] * d
        }
      }
    }
  }
  return(arbolm)
}

#En primer lugar se calcula año a año la evolución del precio del subyacente
#según un proceso lognormal y mediante Monte Carlo
LNS <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
valorej <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
valorfin <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
valordes <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
valorejdes <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
cambio <- 0
S <- S1
LNS[, 1] <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
aleatt <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (n + 1))
aleatt
for (i in 2 : (n + 1)) {
  #Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  aleat <- qnorm(runif(1000))
  IS <- (muanual1 - 0.5 * sigmaanual1 ^ 2) * deltat + sigmaanual1 * deltat ^ 0.5 * aleat
  LNS[, i] <- LNS[, (i - 1)] + IS
  aleatt[, i] <- aleat
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
LNS
Sevol <- exp(LNS)
Sevol
Sevol1 <- Sevol
Sevoldef <- Sevol
S <- S2
LNS[, 1] <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
for (i in 2 : (n + 1)) {
  #Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  IS <- (muanual2 - 0.5 * sigmaanual2 ^ 2) * deltat + sigmaanual2 * deltat ^ 0.5 * aleatt[, i]
  LNS[, i] <- LNS[, (i - 1)] + IS
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
LNS
```

## B. CÓDIGO EN R

```
Sevol <- exp(LNS)
Sevol
Sevol2 <- Sevol
if (tipo == "p") {
  contcambio <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    cambiado <- 0
    for (j in 2 : (n + 1)) {
      if (cambiado == 0) {
        arbolini <- arbol10
        arbolm10 <- farbol1altput(arbolini, Sevol1[i, j], j)
        arbolini1 <- arbol1
        arbolm1 <- farbol1altput(arbolini1, Sevol2[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm1, arbolm10)
        if ((arbolm1[1, j] - X) == arbol2m[1, j]) {
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol2[i, (j : (n + 1))]
          cambiado <- 1
          contcambio <- contcambio + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] - X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else {
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)]
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        }
      }
    }
  }
}
valorfin
valordes
contcambio
"La media del flujo de caja obtenido con simulación es"
mean(valordes)
```

### B.4.5. Alteración para opción compuesta secuencial

En el siguiente script se ofrece una alteración del script general en las zonas necesarias para poder calcular la opción compuesta secuencial. Prácticamente se reduce a la toma de datos y a la aplicación secuencial de la función farbol2 que no se modifica.

```
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio de ejercicio de la primera opción
X1 <- as.numeric(datos[2, 2])
#Año en la que finaliza la primera opción
t1 <- as.numeric(datos[3, 2])
#Precio de ejercicio de la segunda opción
X2 <- as.numeric(datos[4, 2])
#Año en la que finaliza la segunda opción
t2 <- as.numeric(datos[5, 2])
#Precio de ejercicio de la tercera opción
X3 <- as.numeric(datos[6, 2])
#Año en la que finaliza la tercera opción
```

## B. CÓDIGO EN R

```
t3 <- as.numeric(datos[7, 2])
#Duración en años
t <- as.numeric(datos[8, 2])
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[9, 2])
#Volatilidad
sigmaanual <- as.numeric(datos[10, 2])
#Parámetro número de pasos
n <- as.numeric(datos[11, 2])
deltat <- t / n
#Tipo de opción Call = c ó Put = p
tipo <- datos[12, 2]
#Tipo de opción Europea = e ó Americana = a
tipo2 <- datos[13, 2]
```

Aplicación secuencial de las funciones:

```
arbol1 <- farbol1(arbolini)
arbol1
X <- X3
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
X <- X2
n <- t2
arbol1 <- arbol2[1 : (t2 + 1), 1 : (t2 + 1)]
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
X <- X1
n <- t1
arbol1 <- arbol2[1 : (t1 + 1), 1 : (t1 + 1)]
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
```

### B.4.6. Alteración para opción barrera

En el siguiente script se ofrece una alteración del script general en las zonas necesarias para poder calcular la opción con barrera ya sea de tipo *call* o *put*. Prácticamente se reduce a la toma de datos, que no se aporta porque solo consiste en añadir la barrera, a la función *farbol2* y al cálculo por Monte Carlo.

```
farbol2 <- function(arbolini) {
  #Se crea una matriz de ceros
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
  arbol1 <- arbolini
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
  #que si se puede ejercer #en el caso de que sea mayor su ejercicio
  #que el valor de la opción calculado
  if (tipo2 == 'e') {
    #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
    if (tipo == 'c') {
      #Si es tipo call se le resta el precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
      for (i in 1 : (n + 1)) {
```

## B. CÓDIGO EN R

```
if (arbol1[i, n + 1] - XB > 0) {
  arbol2[i, n + 1] <- arbol1[i, n + 1] - X
} else {
  arbol2[i, n + 1] <- 0
}
}
#Volviendo hacia atrás en el árbol se obtiene el valor de cada casilla a partir
#de la fórmula de la probabilidad y la actualización con el tipo de interés
#Se recorre la matriz por columnas
for (i in n : 1) {
  #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
  for (j in i : 1) {
    arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
  }
}
} else {
  #Si es tipo put se le resta al precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    if (XB - arbol1[i, n + 1] > 0) {
      arbol2[i, n + 1] <- X - arbol1[i, n + 1]
    } else {
      arbol2[i, n + 1] <- 0
    }
  }
  arbol2[, n + 1] <- pmax(X - arbol1[, n + 1], 0)
  #Se hace lo mismo que en el caso de call
  for (i in n : 1) {
    for(j in i : 1) {
      arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
    }
  }
}
} else {
  #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
  #en cualquier momento
  if (tipo == 'c') {
    for (i in 1 : (n + 1)) {
      if (arbol1[i, n + 1] - XB > 0) {
        arbol2[i, n + 1] <- arbol1[i, n + 1] - X
      } else {
        arbol2[i, n + 1] <- 0
      }
    }
  }
  for (i in n : 1) {
    for(j in i : 1) {
      if (arbol1[j, i] - XB > 0) {
        #Si supera la barrera se tiene la opción de invertir o mantenerla abierta
        arbol2[j, i] <- max(arbol1[j, i] - X, (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
          arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      } else {
        #Si no supera la barrera solo se puede mantenerla abierta
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
}
} else {
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    if (XB - arbol1[i, n + 1] > 0) {
      arbol2[i, n + 1] <- X - arbol1[i, n + 1]
    } else {
      arbol2[i, n + 1] <- 0
    }
  }
  for (i in n : 1) {
    for(j in i : 1) {
      if (XB - arbol1[j, i] > 0) {
        #Si supera la barrera se tiene la opción de invertir o mantenerla abierta
        arbol2[j, i] <- max(X - arbol1[j, i], (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) *
        arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
      } else {
        #Si no supera la barrera solo se puede mantenerla abierta
        arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
      }
    }
  }
}
}
return(arbol2)
}
```

Cálculo por Monte Carlo:

```
if (tipo == "c") {
  continver <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    invertido <- 0
    for (j in 2 : (n + 1)) {
      if (invertido == 0) {
        arbolini <- arbol1
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm)
        if ((arbolm[1, j] - X) == arbol2m[1, j]) {
          invertido <- 1
          continver <- continver + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] - X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else {
          valorfin[i, 1] <- 0
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        }
      }
    }
  }
} else {
  contaban <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    abandono <- 0
    for (j in 2 : (n + 1)) {
```





## B. CÓDIGO EN R

```
#Tipo de opción Call = c ó Put = p
tipo <- datos[8, 2]
#Tipo de opción Europea = e ó Americana = a
tipo2 <- datos[9, 2]
#Parámetro muanual
muanual <- as.numeric(datos[10,2])
#Se calcula u1, d1 y p1
u1 <- exp(sigmaanual1 * sqrt(deltat))
d1 <- 1 / u1
p1 <- (exp(r * deltat) - d1) / (u1 - d1)
#Se calcula u2, d2 y p2
u2 <- exp(sigmaanual2 * sqrt(deltat))
d2 <- 1 / u2
p2 <- (exp(r * deltat) - d2) / (u2 - d2)
us <- c(u1, d1, u2, d2)
arbolini <- matrix(0, nrow = 4 ^ n, ncol = n + 1)
#Se hace una función para calcular el árbol de la evolución del precio
farbol1 <- function(arbolini) {
  arbol1 <- arbolini
  arbol1[1, 1] <- S
  #Se recorre la matriz por columnas
  for (i in 2 : (n + 1)) {
    #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta el último valor utilizado que
    #será la columna respectiva al cuadrado
    k <- 4 ^ (i - 1)
    for (j in 1 : k) {
      #Se multiplica el valor inicial de la rama por las combinaciones de u1, u2,
      #d1 y d2 tomadas de dos en dos
      if (j%%4 == 1) {
        arbol1[j, i] <- arbol1[(j%%4 + 1), (i - 1)] * u1 * u2
      } else if (j%%4 == 2) {
        arbol1[j, i] <- arbol1[(j%%4 + 1), (i - 1)] * u1 * d2
      } else if (j%%4 == 3) {
        arbol1[j, i] <- arbol1[(j%%4 + 1), (i - 1)] * d1 * u2
      } else if (j%%4 == 0) {
        arbol1[j, i] <- arbol1[(j%%4), (i - 1)] * d1 * d2
      }
    }
  }
  return(arbol1)
}
fordarbol <- function(arbolsord) {
  indi <- arbolini
  for (i in (n + 1) : 1) {
    a <- seq(1, nrow(indi), by = (4 ^ (i - 1)))
    for (j in 1 : (length(a))) {
      indi[j, i] <- a[j]
    }
  }
  indi <- indi[, ncol(indi) : 1]
  arbolord <- arbolini
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    for (j in 1 : (4 ^ (i - 1))) {
      arbolord[indi[j, i], i] <- arbolsord[j, i]
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
    }
  }
  return(arbolord)
}
#Se define una función que calcula el arbol con el valor de la opción
#Se crea una matriz de ceros
farbol2 <- function(arbolini) {
  #Se crea una matriz de ceros
  arbol2 <- matrix(0, nrow = 4 ^ n, ncol = n + 1)
  arbol1 <- arbolini
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
  #que si se puede ejercer #en el caso de que sea mayor su ejercicio
  #que el valor de la opción calculado
  if (tipo2 == 'e') {
    #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
    if (tipo == 'c') {
      #Si es tipo call se le resta el precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
      arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, 0)
      #Volviendo hacia atrás en el árbol se obtiene el valor de cada casilla a partir
      #de la fórmula de la probabilidad y la actualización con el tipo de interés
      #Se recorre la matriz por columnas
      for (i in n : 1) {
        #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
        k <- 0
        for(j in seq(1, (4 ^ i), by = 4)) {
          k <- k + 1
          arbol2[k, i] <- (p1 * p2 * arbol2[j, i + 1] + p1 * (1 - p2) * arbol2[j + 1, i + 1] +
            (1 - p1) * p2 * arbol2[j + 2, i + 1] + (1 - p1) * (1 - p2) * arbol2[j + 3, i + 1]) /
            exp(r * deltat)
        }
      }
    } else {
      #Si es tipo put se le resta al precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
      arbol2[, n + 1] <- pmax(X - arbol1[, n + 1], 0)
      #Se hace lo mismo que en el caso de call
      for (i in n : 1) {
        k <- 0
        for (j in seq(1, (4 ^ i), by=4)) {
          k <- k + 1
          arbol2[k, i] <- (p1 * p2 * arbol2[j, i + 1] + p1 * (1 - p2) * arbol2[j + 1, i + 1] +
            (1 - p1) * p2 * arbol2[j + 2, i + 1] + (1 - p1) * (1 - p2) * arbol2[j + 3, i + 1]) /
            exp(r * deltat)
        }
      }
    }
  } else {
    #En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
    #en cualquier momento
    if (tipo == 'c') {
      arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1] - X, 0)
      for (i in n : 1) {
        k <- 0
        for(j in seq(1, (4 ^ i), by = 4)) {
          k <- k + 1
```

## B. CÓDIGO EN R

```
        arbol2[k, i] <- max(arbol1[k, i] - X, (p1 * p2 * arbol2[j, i + 1] + p1 * (1 - p2) *
        arbol2[j + 1, i + 1] + (1 - p1) * p2 * arbol2[j + 2, i + 1] + (1 - p1) * (1 - p2) *
        arbol2[j + 3, i + 1]) / exp(r * deltat))
    }
}
} else {
  arbol2[, n + 1] <- pmax(X - arbol1[, n + 1], 0)
  k <- 0
  for (i in n : 1) {
    k <- k + 1
    for (j in seq(1, (4 ^ i), by = 4)) {
      arbol2[k, i] <- max(X - arbol1[k, i], (p1 * p2 * arbol2[j, i + 1] + p1 * (1 - p2) *
      arbol2[j + 1, i + 1] + (1 - p1) * p2 * arbol2[j + 2, i + 1] + (1 - p1) * (1 - p2) *
      arbol2[j + 3, i + 1]) / exp(r * deltat))
    }
  }
}
}
}
return(arbol2)
}
arbol1 <- farbol1(arbolini)
arbol1
arbol1ord <- fordarbol(arbol1)
arbol1ord
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
arbol2ord <- fordarbol(arbol2)
arbol2ord
```

### B.4.8. Alteración para opción escoger

En el siguiente script se ofrece una alteración del script general de forma completa, ya que existen suficientes diferencias, y de no hacerlo así, sería más engorrosa su lectura. Con él se pueda calcular el valor del proyecto con la opción de escoger entre abandonar, expandir o reducir parcialmente, para ello es necesario alterar la toma de datos, la función `farbol2`, el cálculo por Monte Carlo y otros cambios menores. Se eliminan comentarios reiterativos respecto al original.

```
rm(list = ls(all = TRUE))
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel
#Para leer los datos se sigue el mismo procedimiento que en el script lognormal.R
directorio <- getwd()
archivo <- "/Datosarbolescoger.xlsx"
ruta <- paste0(directorio, archivo)
datos <- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 0)
datos
#Precio del subyacente
S <- as.numeric(datos[1, 2])
#Precio recibido si se abandona
X <- as.numeric(datos[2, 2])
#Duración en años
t <- as.numeric(datos[3, 2])
```

## B. CÓDIGO EN R

```
#Tipo de interés sin riesgo
r <- as.numeric(datos[4, 2])
#Volatilidad
sigmaannual <- as.numeric(datos[5, 2])
#Parámetro número de pasos
n <- as.numeric(datos[6, 2])
deltat <- t / n
#Tipo de opción Call = c ó Put = p, que debe ser c
tipo <- datos[7, 2]
#Tipo de opción Europea = e ó Americana = a
tipo2 <- datos[8, 2]
#Factor de expansión
fe <- as.numeric(datos[9, 2])
#Coste de expansión
XE <- as.numeric(datos[10, 2])
#Factor de reducción
fr <- as.numeric(datos[11, 2])
#Precio de venta
XR <- as.numeric(datos[12, 2])
#Parámetro muanual
muanual <- as.numeric(datos[13, 2])
#Se calcula u, d y p
u <- exp(sigmaannual * sqrt(deltat))
d <- 1 / u
p <- (exp(r * deltat) - d) / (u - d)
arbolini <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
#Se hace una función para calcular el árbol de la evolución del precio
farbol1 <- function(arbolini) {
  arbol1 <- arbolini
  #Se recorre la matriz por columnas
  for (i in 1 : (n + 1)) {
    #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
    for (j in 1 : i) {
      #Se multiplica S por u tantas veces como pasos dados menos desplazamientos en filas
      #y por d tantas veces como desplazamientos en filas
      arbol1[j, i] <- S * u ^ (i - j) * d ^ (j - 1)
    }
  }
  return(arbol1)
}
#Se define una función que calcula el árbol con el valor de la opción
#Se crea una matriz de ceros
farbol2 <- function(arbolini) {
  #Se crea una matriz de ceros
  arbol2 <- matrix(0, nrow = n + 1, ncol = n + 1)
  arbol1 <- arbolini
  #Se distingue entre si es europea que no se puede ejercer, o si es americana
  #que si se puede ejercer #en el caso de que sea mayor su ejercicio
  #que el valor de la opción calculado
  if (tipo2 == 'e') {
    #En primer lugar se calcula el valor de la opción de la última columna
    if (tipo == 'c') {
      #Si es tipo call se le resta el precio de ejercicio y se toma si es mayor a 0
      arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1], arbol1[, n + 1] * (1 + fe) - XE, arbol1[, n + 1] *

```

## B. CÓDIGO EN R

```
(1 - fr) + XR, X)
#Volviendo hacia atrás en el árbol se obtiene el valor de cada casilla a partir
#de la fórmula de la probabilidad y la actualización con el tipo de interés
#Se recorre la matriz por columnas
for (i in n : 1) {
  #Se recorre la matriz por filas, pero solo hasta la diagonal
  for(j in i : 1) {
    arbol2[j, i] <- (p * arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat)
  }
}
} else {
#En el caso de americana se hace lo mismo con la salvedad de poder ejercer
#en cualquier momento
if (tipo == 'c') {
  arbol2[, n + 1] <- pmax(arbol1[, n + 1], arbol1[, n + 1] * (1 + fe) -
  XE, arbol1[, n + 1] * (1 - fr) + XR, X)
  for (i in n : 1) {
    for(j in i : 1) {
      arbol2[j, i] <- max(arbol1[j, i] * (1 + fe) - XE, arbol1[j, i] * (1 - fr) + XR, X, (p *
      arbol2[j, i + 1] + (1 - p) * arbol2[j + 1, i + 1]) / exp(r * deltat))
    }
  }
}
}
return(arbol2)
}
arbol1 <- farbol1(arbolini)
arbol1
arbol2 <- farbol2(arbol1)
arbol2
#Se define una función alterada para modificar una casilla del arbol 1 y obtenerlo
#a partir de esa casilla con el arbol 1 original, el valor modificado y la fila
farbol1alt <- function(arbol1o, valor, colu) {
  arbolm <- arbol1o
  arbolm[1, colu] <- valor
  if (colu < (n + 1)) {
    for (i in (colu + 1) : (n + 1)) {
      for (j in 1 : i) {
        if (j == 1) {
          arbolm[j, i] <- arbolm[j, i - 1] * u
        } else {
          arbolm[j, i] <- arbolm[j - 1, i - 1] * d
        }
      }
    }
  }
}
return(arbolm)
}
#En primer lugar se calcula año a año la evolución del precio del subyacente
#según un proceso lognormal y mediante Monte Carlo
LNS <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
valorej <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
valorfin <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
```

## B. CÓDIGO EN R

```
valordes <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = 1)
valorejdes <- matrix(0, nrow = 1000, ncol = (t / deltat + 1))
expandido <- 0
reducido <- 0
abandono <- 0
LNS[, 1] <- log(S)
#Se calcula el incremento año por año hasta los solicitados
for (i in 2 : (n + 1)) {
  #Se calculan los incrementos en el subyacente para cada uno de los escenarios
  IS <- (muanual - 0.5 * sigmaanual ^ 2) * deltat + sigmaanual * deltat ^ 0.5 * qnorm(runif(1000))
  LNS[, i] <- LNS[, (i - 1)] + IS
}
#Se calcula S deshaciendo el logaritmo
LNS
Sevol <- exp(LNS)
Sevol
Sevoldef <- Sevol
if (tipo == "c") {
  contexpan <- 0
  contreduc <- 0
  contaban <- 0
  for (i in 1 : nrow(Sevol)) {
    expandido <- 0
    reducido <- 0
    abandono <- 0
    for (j in 2 : (n+1)) {
      if (expandido == 0 && reducido == 0 && abandono == 0) {
        arbolini <- arbol1
        arbolm <- farbol1alt(arbolini, Sevol[i, j], j)
        arbol2m <- farbol2(arbolm)
        if ((arbolm[1, j] * (1 + fe) - XE) == arbol2m[1, j]) {
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol[i, (j : (n + 1))] * (1 + fe)
          expandido <- 1
          contexpan <- contexpan + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] - XE * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else if ((arbolm[1, j] * (1 - fr) + XR) == arbol2m[1, j]) {
          Sevoldef[i, (j : (n + 1))] <- Sevol[i, (j : (n + 1))] * (1 - fr)
          reducido <- 1
          contreduc <- contreduc + 1
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)] + XR * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else if ((X) == arbol2m[1, j]) {
          abandono <- 1
          contaban <- contaban + 1
          valorfin[i, 1] <- X * exp(r * (n + 1 - j) * deltat)
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        } else {
          valorfin[i, 1] <- Sevoldef[i, (n + 1)]
          valordes[i, 1] <- valorfin[i, 1] * exp(-r * (n + 1) * deltat)
        }
      }
    }
  }
}
```

## B. CÓDIGO EN R

```
}  
valorfin  
valordes  
contexpan  
contreduc  
contaban  
"La media del flujo de caja obtenido con simulación es"  
mean(valordes)
```

### B.5. BÚSQUEDA DE LA DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE UNA MUESTRA DE DATOS

En este script se trata de encontrar a qué tipo de distribución estadística se asemeja una muestra de datos y qué parámetros la rigen. Se deben cargar los paquetes de R (R Core Team, 2016), readxl, fitdistrplus (Delignette-Muller y Dutang, 2015) y mc2d (Pouillot y Delignette-Muller, 2010).

```
##Script para averiguar a qué distribución estadística corresponde un grupo de datos  
rm(list = ls(all = TRUE))  
#En primer lugar se debe cargar el paquete "readxl" si los datos están en Excel  
#En segundo lugar se debe cambiar el directorio de trabajo. Lo más sencillo  
#desde Archivo->Cambiar dir...  
#Se guarda en directorio la ruta del directorio de trabajo  
directorio <- getwd()  
#Se guarda en archivo el nombre del archivo donde están los datos anteponiendo una /  
archivo <- "/vivienda3.xlsx"  
#Se guarda la ruta concatenándola  
ruta <- paste0(directorio, archivo)  
#Se leen los datos (con skip se saltan las filas innecesarias, ver tutorial)  
datos<- read_excel(ruta, sheet = 1, skip = 3)  
#Se seleccionan solo las variables que interesan  
datos <- data.frame(datos$Fecha, datos$Precio)  
datos  
#Se vinculan las variables con un vector  
attach(datos)  
#Se va a utilizar el paquete de R fitdistrplus, por lo que debe cargarse  
#Se va a utilizar el paquete de R mc2d, por lo que debe cargarse  
#El comando fitdist dice si se aproxima a algún tipo concreto de distribución  
#como "norm", "lnorm", "pois", "exp", "gamma", #"nbinom", "geom", "beta",  
#"unif" and "logis" por defecto en fitdistrplus y "triang" y "betagen" en mc2d  
#Por el tipo de datos que se manejan solo se analizan parte de ellas  
#Se almacena en una variable el análisis de fitdist para cada distribución  
fitn <- fitdist(datos.Precio, "norm")  
fitln <- fitdist(datos.Precio, "lnorm")  
fitg <- fitdist(datos.Precio, "gamma")  
fitu <- fitdist(datos.Precio, "unif")  
fitlo <- fitdist(datos.Precio, "logis")  
fitw <- fitdist(datos.Precio, "weibull")  
fitt <- fitdist(datos.Precio, "triang", method = "mge", start = list(min = min(datos.Precio),  
mode = mean(datos.Precio), max = max(datos.Precio)), gof = "CvM")
```



## B. CÓDIGO EN R

```
fitbg <- fitdist(datos.Precio, "betagen", method = "mge", start = list(shape1 = 2, shape2 = 2,
min = min(datos.Precio), max = max(datos.Precio)), gof = "CvM")
#Para la beta estándar es necesario escalar los datos al intervalo (0,1)
#Se hará más adelante junto a todas con los datos escalados
#Con summary se comprueba el ajuste, obteniendo los parámetros y varios
#criterios como Loglikelihood (mejor cuanto mayor) y los criterios
#AIC Akaike y BIC Bayesiano (mejores cuanto menores)
summary(fitn)
summary(fitln)
summary(fitg)
summary(fitu)
summary(fitlo)
summary(fitw)
summary(fitt)
summary(fitbg)
#Con plot se obtiene la comparación con la teórica función de densidad, con
#la función de distribución acumulada, y los gráficos pp y qq.
#Pueden obtenerse por separado con cdfcomp, denscomp, ppcomp y qqcomp
plot(fitn)
plot(fitln)
plot(fitg)
plot(fitu)
plot(fitlo)
plot(fitw)
plot(fitt)
plot(fitbg)
#Puede obtenerse una comparación de todas las distribuciones simultáneamente
#pero no con plot
cdfcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
denscomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
qqcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
ppcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
#Con gofstat se obtiene la bondad del ajuste, además de con los criterios de
#Akaike y Bayesiano con los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov, Cramer von Mises
#y Anderson-Darling
gofstat(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), fitnames = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
gfitn <- gofstat(fitn, fitnames = "norm")
gfitln <- gofstat(fitln, fitnames = "lnorm")
gfitg <- gofstat(fitg, fitnames = "gamma")
gfitu <- gofstat(fitu, fitnames = "unif")
gfitlo <- gofstat(fitlo, fitnames = "logis")
gfitw <- gofstat(fitw, fitnames = "weibull")
gfitf <- gofstat(fitt, fitnames = "triang")
gfitbg <- gofstat(fitbg, fitnames = "betagen")
#Se ofrece el resultado del test de Kolmogorov Smirnov si los datos son más de 30
#Como avisa la documentación del paquete puede ser muy conservador
rtest <- c(gfitn$kstest, gfitln$kstest, gfitg$kstest, gfitu$kstest, gfitlo$kstest,
gfitw$kstest, gfitf$kstest, gfitbg$kstest)
rtest
```

## B. CÓDIGO EN R

```
#A continuación se calcula un vector con la tasa de crecimiento del precio
#para lo cual se crean variables auxiliares para desfazar los precios
precio1 <- c(0, datos.Precio)
precio2 <- c(datos.Precio, 0)
ratio <- precio2 / precio1
#Se eliminan el primero y el último valor ya que no tienen sentido
ratio <- ratio[-c(1, length(ratio))]
ratio
#Se calcula el logaritmo neperiano del ratio
logratio <- log(ratio)
fitn <- fitdist(ratio, "norm")
fitln <- fitdist(ratio, "lnorm")
fitg <- fitdist(ratio, "gamma")
fitu <- fitdist(ratio, "unif")
fitlo <- fitdist(ratio, "logis")
fitw <- fitdist(ratio, "weibull")
fitt <- fitdist(ratio, "triang", method = "mge", start = list(min = min(datos.Precio),
mode = mean(datos.Precio), max = max(datos.Precio)), gof = "CvM")
fitbg <- fitdist(ratio, "betagen", method = "mge", start = list(shape1 = 2, shape2 = 2,
min = min(datos.Precio), max = max(datos.Precio)), gof = "CvM")
#Para la beta estándar es necesario escalar los datos al intervalo (0,1)
#Se hará más adelante junto a todas con los datos escalados
#Con summary se comprueba el ajuste, obteniendo los parámetros y varios
#criterios como Loglikelihood (mejor cuanto mayor) y los criterios
#AIC Akaike y BIC Bayesiano (mejores cuanto menores)
summary(fitn)
summary(fitln)
summary(fitg)
summary(fitu)
summary(fitlo)
summary(fitw)
summary(fitt)
summary(fitbg)
#Con plot se obtiene la comparación con la teórica función de densidad, con
#la función de distribución acumulada, y los gráficos pp y qq.
#Pueden obtenerse por separado con cdfcomp, denscomp, ppcomp y qqcomp
plot(fitn)
plot(fitln)
plot(fitg)
plot(fitu)
plot(fitlo)
plot(fitw)
plot(fitt)
plot(fitbg)
#Puede obtenerse una comparación de todas las distribuciones simultáneamente
#pero no con plot
cdfcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
denscomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
qqcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
ppcomp(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), legendtext = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
```

## B. CÓDIGO EN R

```
#Con gofstat se obtiene la bondad del ajuste, además de con los criterios de
#Akaike y Bayesiano con los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov, Cramer von Mises
#y Anderson-Darling
gofstat(list(fitn, fitln, fitg, fitu, fitlo, fitw, fitt, fitbg), fitnames = c("normal",
"lognormal", "gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "Triangular", "BetaGen"))
gfitn <- gofstat(fitn, fitnames = "norm")
gfitln <- gofstat(fitln, fitnames = "lnorm")
gfitg <- gofstat(fitg, fitnames = "gamma")
gfitu <- gofstat(fitu, fitnames = "unif")
gfitlo <- gofstat(fitlo, fitnames = "logis")
gfitw <- gofstat(fitw, fitnames = "weibull")
gfitt <- gofstat(fitt, fitnames = "triang")
gfitbg <- gofstat(fitbg, fitnames = "betagen")
#Se ofrece el resultado del test de Kolmogorov Smirnov si los datos son más de 30
#Como avisa la documentación del paquete puede ser muy conservador
rtest <- c(gfitn$kstest, gfitln$kstest, gfitg$kstest, gfitu$kstest, gfitlo$kstest,
gfitw$kstest, gfitt$kstest, gfitbg$kstest)
rtest
#Para la beta normal es necesario escalar los datos al intervalo (0,1)
#Se escalan y se hace el mismo análisis anterior para poder comparar
#con las anteriores. No se puede hacer con la lognormal por la transformación
escdatPrecio <- (datos.Precio - min(datos.Precio) + 0.0001) / (max(datos.Precio) -
min(datos.Precio) + 0.001)
escdatPrecio
efitn <- fitdist(escdatPrecio, "norm")
efitg <- fitdist(escdatPrecio, "gamma")
efitu <- fitdist(escdatPrecio, "unif")
efitlo <- fitdist(escdatPrecio, "logis")
efitw <- fitdist(escdatPrecio, "weibull")
efitt <- fitdist(escdatPrecio, "triang", method="mge", start = list(min = min(datos.Precio),
mode = mean(datos.Precio), max = max(datos.Precio)), gof="CvM")
efitb <- fitdist(escdatPrecio, "beta")
#Con summary se comprueba el ajuste, obteniendo los parámetros y varios
#criterios como Loglikelihood (mejor cuanto mayor) y los criterios
# AIC Akaike y BIC Bayesiano (mejores cuanto menores)
summary(efitn)
summary(efitg)
summary(efitu)
summary(efitlo)
summary(efitw)
summary(efitt)
summary(efitb)
#Con plot se obtiene la comparación con la teórica función de densidad, con
#la función de distribución acumulada, y los gráficos pp y qq.
#Pueden obtenerse por separado con cdfcomp, denscomp, ppcomp y qqcomp
plot(efitn)
plot(efitg)
plot(efitu)
plot(efitlo)
plot(efitw)
plot(efitt)
plot(efitb)
#Puede obtenerse una comparación de todas las distribuciones simultáneamente
#pero no con plot
```

## B. CÓDIGO EN R

```
cdfcomp(list(efitn, efitg, efitu, efitlo, efitw, efitt, efitb), legendtext = c("normal",
"gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "triangular", "beta"))
denscomp(list(efitn, efitg, efitu, efitlo, efitw, efitt, efitb), legendtext = c("normal",
"gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "triangular", "beta"))
qqcomp(list(efitn, efitg, efitu, efitlo, efitw, efitt, efitb), legendtext = c("normal",
"gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "triangular", "beta"))
ppcomp(list(efitn, efitg, efitu, efitlo, efitw, efitt, efitb), legendtext = c("normal",
"gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "triangular", "beta"))
#Con gofstat se obtiene la bondad del ajuste, además de con los criterios de
#Akaike y Bayesiano con los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov, Cramer von Mises
#y Anderson-Darling
gofstat(list(efitn, efitg, efitu, efitlo, efitw, efitt, efitb), fitnames = c("normal",
"gamma", "uniforme", "logistica", "Weibull", "triangular", "beta"))
egfitn <- gofstat(efitn, fitnames = "norm")
egfitg <- gofstat(efitg, fitnames = "gamma")
egfitu <- gofstat(efitu, fitnames = "unif")
egfitlo <- gofstat(efitlo, fitnames = "logis")
egfitw <- gofstat(efitw, fitnames = "weibull")
egfitt <- gofstat(efitt, fitnames = "triangular")
egfitb <- gofstat(efitb, fitnames = "beta")
#Se ofrece el resultado del test de Kolmogorov Smirnov si los datos son más de 30
#Como avisa la documentación del paquete puede ser muy conservador
ertest <- c(egfitn$kstest, egfitg$kstest, egfitu$kstest, egfitlo$kstest, egfitw$kstest,
egfitt$kstest, egfitb$kstest)
ertest
#Para los casos en los que existan límites en la distribución se detectan con detectbound
#Detectbound da los límites de la distribución que se prueba
detectbound("exp", c(rate = 3), datos.Precio)
detectbound("binom", c(size = 3, prob = 1 / 2), datos.Precio)
detectbound("nbinom", c(size = 3, prob = 1 / 2), datos.Precio)
detectbound("norm", c(mean = 1475, sd = 17), datos.Precio)
```

# Bibliografía

- Aarle, R. (2013). A real-options approach to company valuation. Essay Master. Faculty BMS: Behavioural, Management and Social Sciences. University of Twente.
- Alonso, S. (2009). La valoración de opciones reales con múltiples fuentes de incertidumbre. *Anales de estudios económicos y empresariales*, (19):235–256.
- Alonso, S., Azofra, V., y de la Fuente, G. (2007). Las opciones reales y la simulación de Monte Carlo. *Universia Business Review - Actualidad Económica*, 4(16).
- Alonso, S., Azofra, V., y de la Fuente, G. (2009). Las opciones reales en el sector eléctrico. el caso de la expansión de Endesa en Latinoamérica. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 12(38):65–94.
- Alstad, R. M. y Foss, J. T. (2003). Real option analysis of gas fired power plants.
- Andrés, P., Azofra, V., y Fuente, G. (2006). The real options component of firm market value: The case of the technological corporation. *Journal of Business Finance & Accounting*, 33(1-2):203–219.
- Ashuri, B., Lu, J., y Kashani, H. (2011). A real options framework to evaluate investments in toll road projects delivered under the two-phase development strategy. *Built Environment Project and Asset Management*, 1(1):14–31.
- Auer, M. (2012). Montecarlito 1.10. Software Technology & Interactive Systems, [www.ifs.tuwien.ac.at](http://www.ifs.tuwien.ac.at), Vienna University of Technology.
- Baldwin, C. Y. y Clark, K. B. (1992). Capabilities and capital investment: New perspectives on capital budgeting. *Journal of Applied Corporate Finance*, 5(2):67–82.
- Balibrea, J. (2011). *Desarrollo de una metodología basada en la teoría de opciones reales para la valoración de proyectos de inversión en energías renovables*. Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.
- Balibrea, J. (2013). Valoración de proyectos de generación eléctrica con energías renovables: Un estudio comparado basado en opciones reales regulatorias.
- Banco de España, B. (2015). Boletín Estadístico del Banco de España. <http://www.bde.es/webbde/es/estadis/infoest/bolest.html>.
- Barone-Adesi, G. y Whaley, R. E. (1987). Efficient analytic approximation of american option values. *The Journal of Finance*, 42(2):301–320.

## Bibliografía

- Berger, P. G., Ofek, E., y Swary, I. (1996). Investor valuation of the abandonment option. *Journal of Financial Economics*, 42(2):257 – 287.
- Berggrun, L. (2011). Valoración binomial de opciones financieras. *Apuntes de Economía. Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas - Universidad Icesi. Cali. Colombia*, 32.
- Black, F. y Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3):637–654.
- Borghers, E., Wessa, P., y Xycoon (2012). Statistics - Econometrics - Forecasting. Office for Research Development and Education. <http://www.xycoon.com/>.
- Bowman, E. H. y Moskowitz, G. T. (2001). Real options analysis and strategic decision making. *Organization Science*, 12(6):772–777.
- Boyle, P., Broadie, M., y Glasserman, P. (1997). Monte Carlo methods for security pricing. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21(8-9):1267 – 1321. Computational financial modelling.
- Brennan, M. J. y Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investments. *The Journal of Business*, 58(2):135–157.
- Broadie, M. y Glasserman, P. (1997). Pricing american-style securities using simulation. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21(8 - 9):1323 – 1352. Computational financial modelling.
- Calle, A. M. y Tamayo, V. M. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111):107 – 126.
- Capozza, D. y Li, Y. (1994). The intensity and timing of investment: The case of land. *The American Economic Review. American Economic Association. Menasha, Wis., United States*, 84(4):889.
- Castaño, C. (2008). *Valoración de pequeñas empresas: Una aplicación a la marca Denominación de origen Dehesa de Extremadura*. Tesis doctoral, Departamento de Economía de la Empresa y Contabilidad. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la UNED.
- Chatfield, C. (2004). *The analysis of time series: An Introduction*. CRC press, Boca Raton. Florida., 6 edición.
- Commerzbank AG (2017). Productos cotizados. warrants commerzbank. <https://www.warrants.commerzbank.es/>.
- Copeland, T. y Antikarov, V. (2001). *Real Options: A Practitioner's Guide*. Texere.
- Cortázar, G., Gravet, M. A., y Urzua, J. L. (2008). The valuation of multidimensional american real options using the LSM simulation method. *Computers & Operations Research*, 35(1):113–129.

## Bibliografía

- Cox, J. C., Ross, S. A., y Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3):229 – 263.
- Damodaran, A. (2007). *Strategic risk taking: a framework for risk management*. Pearson Prentice Hall.
- Dapena, J. P. (2004). Opciones reales para decisiones de inversión y abandono en contextos macro de volatilidad del producto con extensión a mercado de capitales. Tesis de máster, Universidad del CEMA.
- Delignette-Muller, M. L. y Dutang, C. (2015). fitdistrplus: An R package for fitting distributions. *Journal of Statistical Software*, 64(4):1–34. <http://www.jstatsoft.org/v64/i04/>.
- Departamento de Vivienda, G. V. (2008). Sistema de información y análisis de costos de obras de urbanización. Informe de análisis. Gobierno Vasco.
- Devarajan, S., Balasundaram, S., y Pathanjali, C. K. (2012). How does option greeks help option traders? *IFIN's Basic Education*. IFCI Financial Services Ltd.
- Dixit, A. y Pindyck, R. (1994). *Investment Under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton. New Jersey. ISBN 0-691-03410-9.
- Dixit, A. K. y Pindyck, R. S. (1995). The options approach to capital investment. *Real Options and Investment under Uncertainty-classical Readings and Recent Contributions*. MIT Press, Cambridge, p. 6.
- Domínguez, R. (2009). *Utilización de opciones reales en proyectos de inversión agrícola*. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados. México.
- Espinosa, J. A. (2012). Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. *Dictamen Libre*, 10(10/11).
- Fernández, P. (2008). Valoración de opciones reales: Dificultades, problemas y errores. *Documento de Investigación*. DI-760.
- Ferreira, N., Kar, J., y Trigeorgis, L. (2009). Option games: The key to competing in capital-intensive industries. *Harvard business review*. Harvard Business School Publishing Corporation, 87(3).
- Forcael, E., Andalaft, A., Schovelin, R., y Vargas, P. (2013). Aplicación del método de opciones reales en la valoración de proyectos inmobiliarios. *Obras y proyectos*, (14):58–70.
- Ford, D. N., Lander, D. M., y Voyer, J. J. (2002). A real options approach to valuing strategic flexibility in uncertain construction projects. *Construction Management and Economics*, 20(4):343–351.
- Fuente, G. d. l. (1999). *Las opciones reales en la decisión de inversión. Propuesta y aplicación de un modelo de valoración al caso de una multinacional española*. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Valladolid.

## Bibliografía

- Fuller, W. A. (1976). *Introduction to statistical time series*, volumen 428. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-471-55239-0.
- Galai, D. y Masulis, R. W. (1976). The option pricing model and the risk factor of stock. *Journal of Financial Economics*, 3(1):53 – 81.
- Gobierno de la Rioja, S. (1999). Plan general de Santo Domingo de la Calzada. Sistema de Información Urbanística. SIU. <https://siu.larioja.org>.
- González, E. (2003a). Valoración de un proyecto de edificación mediante opciones reales. En *Anales de economía aplicada. XVII Asepelt*. Asociación Española de Economía Aplicada, ASEPELT.
- González, E. (2003b). Valoración de una compañía aérea mediante opciones reales. En *Anales de economía aplicada. XVII Asepelt*. Asociación Española de Economía Aplicada, ASEPELT.
- Gracia, I. (2014). Análisis de las opciones reales en decisiones de inversión. aplicación práctica a inversiones inmobiliarias. Tesis de máster, Escuela Técnica Superior de Ingeniería en Edificación. Universidad Politécnica de Valencia.
- Graham, J. R. y Harvey, C. R. (2001). The theory and practice of corporate finance: evidence from the field. *Journal of Financial Economics*, 60(2 - 3):187 – 243. Complementary Research Methodologies: The InterPlay of Theoretical, Empirical and Field-Based Research in Finance.
- Gravet, M. A. (2003). *Evaluación de opciones reales mediante simulación: el método de los mínimos cuadrados*. Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Grenadier, S. R. (1995). Flexibility and tenant mix in real estate projects. *Journal of Urban Economics*, 38(3):357 – 378.
- Grenadier, S. R. (1996). The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real estate markets. *The Journal of Finance*, 51(5):1653–1679.
- Guevara, P., Méndez, M., y Macías, W. (2009). Evaluación de proyectos con opciones reales: Aplicación a un proyecto inmobiliario con punto de equilibrio. *Facultad de Economía y Negocios. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador*.
- Haug, E. (2007). *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*. McGraw-Hill, 2ª edición. isbn=0071477349, 9780071477345.
- Hayes, R. H. y Garvin, D. A. (1982). Managing as if tomorrow mattered. *Harvard business review*, 60(3):71–79.
- Hernández, D. (2002). Opciones reales: el manejo de las inversiones estratégicas en las finanzas corporativas. Tesis de máster, Facultad de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México.



## Bibliografía

- Herrero de Egaña, A., Muñoz, A., Muñoz, A., y Muñoz, A. (2011). *Cálculo para empresarios y economistas*. Ediciones Académicas, S.A. EDIASA.
- Hinojosa, S. A. (2008). *Opciones Reales en Inversiones Públicas: Revisión de literatura, desarrollos conceptuales y aplicaciones*. Tesis doctoral, Escuela Superior de Administración y Dirección de Empresas ESADE.
- Ho, S. P. y Liu, L. Y. (2003). How to evaluate and invest in emerging A/E/C technologies under uncertainty. *Journal of Construction Engineering & Management*, 129(1):16.
- Hull, J. C. (2006). *Options, futures, and other derivatives*. Pearson Education India.
- IPCC, I. P. o. C. C. (2017). Task force on national greenhouse gas inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
- IPCC, Frey, C., Penman, J., Hanle, L., Monni, S., y Ogle, S. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, volumen 1 Orientación general y generación de informes Capítulo 3 Incertidumbres.
- Kester, W. C. (1984). Today's options for tomorrow's growth. *Harvard business review*, 62:153–160.
- Kodukula, P. y Papudesu, C. (2006). *Project valuation using real options: a practitioner's guide*. J. Ross Publishing.
- Kulatilaka, N. (1993). The value of flexibility: The case of a dual-fuel industrial steam boiler. *Financial Management*, 22(3):271.
- León, A. y Piñeiro, D. (2004). *Valuation of a biotech company: A real options approach*. CEMFI, Centro de Estudios Monetarios y Financieros.
- Leporati, M. (2013). Valoración de proyectos de tiendas de conveniencia en nuevos mercados a través de opciones. *Análisis financiero*, (123):6–30.
- Leviankangas, P. y Lahesmaa, J. (2002). Profitability evaluation of intelligent transport system investments. *Journal of Transportation Engineering*, 128(3):276.
- Longstaff, F. A. y Schwartz, E. S. (2001). Valuing american options by simulation: A simple least-squares approach. *The Review of Financial Studies*, 14(1):113–147.
- Majd, S. y Pindyck, R. (1987). Time to build, option value, and investment decisions. *Journal of Financial Economics*, 18(1):7–27. ISSN: 0304-405X.
- Mascareñas, J. (2007). *Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. Universidad Complutense de Madrid. España.*
- Mascareñas, J. (2008). *La valoración de proyectos de inversión productivos. Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas. Universidad Complutense de Madrid. España.*

## Bibliografía

- Mascareñas, J. M., Lamothe, P., López, F. J., y de Luna, W. (2003). *Opciones reales y valoración de activos cómo medir la flexibilidad operativa en la empresa*. Pearson Educación, Madrid.
- McDonald, R. L. y Siegel, D. R. (1985). Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down. *International Economic Review*, 26(2):331–349.
- Mendiola, A., Aguirre, C., del Castillo, C., Ccopa, M., Flores, L., y Ortiz, R. (2014). *Valoración de una empresa con opciones reales: el caso de Minera Aurífera Peruana*. Serie gerencia para el desarrollo 34. ESAN Ediciones. Universidad ESAN, Lima, primera edición.
- Ministerio de Fomento, m. (2016). Boletín estadístico y estadísticas del ministerio de fomento. <http://www.fomento.gob.es>.
- Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*, volumen 137. John Wiley & Sons.
- Murray, C. (2017). Chris Murray's homepage. Sensitivity of european option prices to various inputs in a Black-Scholes world. <https://sites.google.com/site/cdmurray80/optiongreeks>.
- Myers, S. C. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, 5(2):147 – 175.
- Neufville, R. d. (2003). Real options: dealing with uncertainty in systems planning and design. *Integrated Assessment*, 4(1):26–34.
- Neufville, R. d., Scholtes, S., y Wang, T. (2006). Opciones reales en hoja de cálculo: Caso de un edificio de aparcamiento. traducido por Escudero, Laura de Valuing options by spreadsheet: Parking garage case example. *Journal of Infrastructure Systems. American Society of Civil Engineers*, 12(2):107–111.
- Otero, S., Andalaft, A., y Vásquez, E. (2008). El método de diferencias finitas en evaluación de opciones reales. *Ingeniare.Revista chilena de ingeniería*, 16(1):232–243.
- Palacios, F., Rayo, S., Herrerías, R., y Cortés, A. (2003). Valoración de la flexibilidad de proyectos de inversión mediante opciones reales: el VAN ampliado. En *Programación, selección y control de proyectos en ambiente de incertidumbre. IV Seminario ASEPELT.*, pp. 301–324. Universidad de Granada.
- Palomares, J. (2010). Modelo de valoración de la inversión en una central eléctrica mediante opciones reales. Tesis de máster, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Universidad Pontificia de Comillas. Madrid.
- Pardo, L., Rodríguez, J. J., y Rodríguez, M. (2004). Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión en acuicultura. En *Anales de Economía Aplicada. XVIII Asepelt*.

## Bibliografía

- Pelet, M. (2003). Real options in petroleum: Geometric brownian motion and mean-reversion with jumps. Tesis de máster, New College. Oxford University.
- Perillo, O. (2013). Valuación de opciones financieras. el modelo binomial de valuación. *Boletín Matemático. Universidad de Morón*, (21). ISSN. 0329-0255.
- Pindyck, R. S. (1986). Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firm. Working Paper 1980, National Bureau of Economic Research.
- Pou, V. (2007). El impacto del mercado inmobiliario en las finanzas públicas. *Revista de estudios locales. Cunal. Consejo General de Colegios de Secretarios, Intervenores y Tesoreros de la Administración Local*, (99):20–29.
- Pouillot, R. y Delignette-Muller, M.-L. (2010). Evaluating variability and uncertainty in microbial quantitative risk assessment using two R packages. *International Journal of Food Microbiology*, 142(3):330–40.
- Pulido, A. y López, A. M. (1999). *Predicción y simulación aplicada a la economía y gestión de empresas*. Ediciones Pirámide S.A., Madrid.
- Pulido, A., López, A. M., y Rodríguez, J. (2004). Curso de predicción económica y empresarial. Fondo de Investigación e Innovación Richard Stone del Instituto L.R. Klein-Centro Stone.
- Quesada, M. (2011). Análisis de series. modelos heterocedásticos. Tesis de máster, Trabajo Fin de Máster. Universidad de Granada.
- Quigg, L. (1993). Empirical testing of real option-pricing models. *The Journal of Finance. American Finance Association, Wiley*, 48(2):621–640.
- R Core Team (2016). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Real Academia de la Lengua Española, R. (2014). Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. 23 edición. Espasa. <http://dle.rae.es/?id=R5ncFn4>.
- Retana, J. C. (2007). *Integración del valor presente neto, la simulación y las opciones reales en el desarrollo estratégico de la evaluación de proyectos*. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rmetrics Core, T., Wuertz, D., Setz, T., y Chalabi, Y. (2015). fOptions. Rmetrics - pricing and evaluating basic options. <http://www.rmetrics.org>. Repositorio de CRAN <http://www.cran.r-project.org/>.
- Rocha, K., Salles, L., Alcaraz, F., Sardinha, J. A., y Teixeira, J. P. (2007). Real estate and real options. A case study. *Emerging Markets Review*, 8(1):67 – 79.
- Romero, A., Hernández, L., Garrido, B., y Usieto, M. (2004a). Plan Parcial del Sector 11 de Santo Domingo de la Calzada. Sistema de Información Urbanística. SIU. Gobierno de la Rioja, SIU.

## Bibliografía

- Romero, A., Hernández, L., Usieto, M., y López, A. (2004b). Proyecto de Compensación del Sector 11 de Santo Domingo de la Calzada. Junta de Compensación del Sector 11 de Santo Domingo de la Calzada. Ayuntamiento de Santo Domingo de la Calzada.
- Romero, J., Guerrero, J., y Ángel, J. (2005). Metodología de opciones reales aplicada a la valoración de proyectos de producción de Ecopetrol S.A. Tesis de máster, Facultad de Administración. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Rozo, V. (2009). Contraste entre técnicas tradicionales de inversión y valoración de opciones reales en ambientes de incertidumbre, utilizando el modelo de Black & Scholes y el método binomial. Tesis de máster, Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad del Norte. Colombia.
- Sanz, B. (2011). Apuntes de clase Econometría II y Análisis cuantitativo de los ciclos económicos. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Nacional de Educación a Distancia. UNED.
- Sastoque, L. M. (2014). Valoración de Proyectos de Construcción Inmobiliaria por Medio de Opciones Reales. Tesis de máster, Universidad de los Andes.
- Schwartz, E. S. (2004). Patents and r&d as real options. *Economic Notes*, 33(1):23–54.
- Schwartz, E. S. y Moon, M. (2000). Rational pricing of internet companies. *Financial Analysts Journal*. CFA Institute, 56(3):62–75.
- Schwartz, E. S. y Moon, M. (2001). Rational pricing of internet companies revisited. *Financial Review*, 36(4):7–26.
- Segura, A. F. (2012). Aplicación de un modelo de opciones reales a la evaluación de proyectos de investigación y desarrollo en el sector de biotecnología en la ciudad de Bogotá. Tesis de máster, Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires.
- Sharpe, M. J. (2004). Lognormal model for stock prices. Mathematics Department, University of California, San Diego.
- Sorsimo, A. (2015). Numerical methods in real option analysis.
- Suárez, A. S. (2004). Opciones reales. *Documentos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid*, (04). ISSN: 2255-5471.
- Titman, S. (1985). Urban land prices under uncertainty. *The American Economic Review*, 75(3):505–514.
- Trigeorgis, L. (1993a). The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(1):1–20.
- Trigeorgis, L. (1993b). Real options and interactions with financial flexibility. *Financial Management*, 22(3):202.

## Bibliografía

- Trigo, J. e Investigadores IEE, E. (2014). El Sector Inmobiliario en España. *Informes Instituto de Estudios Económicos - Asprima*.
- Urzúa, J. L. (2004). *Valorización de opciones reales multidimensionales mediante simulación de Montecarlo utilizando el algoritmo LSM*. Tesis doctoral, Escuela de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Vera, R. P. (2013). Tasa interna de rendimiento modificada. <http://notasdefinanzas.blogspot.com.es/2013/11/tasa-interna-de-rendimiento-modificada.html> y [http://notasdefinanzas.blogspot.com.es/2013/11/tasa-interna-de-rendimiento-modificada\\_7.html](http://notasdefinanzas.blogspot.com.es/2013/11/tasa-interna-de-rendimiento-modificada_7.html).
- Wang, T. y de Neufville, R. (2004). Building real options into physical systems with stochastic mixed-integer programming. En *Prepared for the 8th Real Options Annual International Conference in Montreal, Canada June 2004*.
- Wessa, P. (2017). Free statistics software, office for research development and education, version 1.1.23-r7. <http://www.wessa.net/>.
- Wickham, H. (2016). *readxl: Read Excel Files*. R package version 0.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>.
- Wikipedia (2017). Varios artículos. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- Williams, J. T. (1991). Real estate development as an option. *Journal of real estate finance and economics*, 4(2):191–208. ISSN: 0895-5638;
- Winston, W. L. (1999). A tutorial on using Excel and Excel add-ins to value real options. 3rd Annual Real Options Conference. 1999 Leiden Netherlands Institute for Advanced Studies.
- Wittwer, J. (2004). Generating random numbers in Excel for Monte Carlo simulation from vertex42.com. <https://www.vertex42.com/ExcelArticles/mc/GeneratingRandomInputs.html>.
- Zhao, T., Sundararajan, S., y Tseng, C. (2004). Highway development decision-making under uncertainty: A real options approach. *Journal of Infrastructure Systems*, 10(1):23–32.
- Zhao, T. y Tseng, C. (2003). Valuing flexibility in infrastructure expansion. *Journal of Infrastructure Systems*, 9(3):89–97.