

TESIS DOCTORAL

RESUMEN

2022

La inevitabilidad histórica de la
Sociedad de la Información y su
contribución al desarrollo económico
y humano

Javier Jurado González

Ingeniero de Telecomunicación

Licenciado en Filosofía

Director: José Luis Gómez Barroso

Índice

1. Introducción	1
2. La información: bases teóricas y campos de aplicación	7
3. Historia del crecimiento de la información: evidencias y características	8
4. La cuarta revolución de la información y el desarrollo económico.....	16
5. Una propuesta de cuantificación de la SI: índices ISLD e IGR.....	20
6. Evaluación empírica de la contribución de la SI al desarrollo económico y humano	23
7. Conclusiones generales	36
8. Bibliografía	42

Abreviaturas y siglas

Siglas	Significado		
4IR	4 th Industrial Revolution (Cuarta Revolución Industrial)		
CE	Complejidad Económica	EC	Economic Complexity
CPI	Corruption Perceptions Index		
DEM	Índice de Democracia		
DOI	Digital Opportunity Index		
ECI	Economic Complexity Index		
ECI+	Improved Economic Complexity Index		
EGDI	E-Government Development Index		
EIU	E-Readiness Index from Economist Intelligence Unit		
Exp	Exports		
FdI	Foreign direct investment		
FIW	Freedom In the World index		
Gcf	Gross Capital Formation		
GCI	Global Competitiveness Index		
IA	Inteligencia Artificial	AI	Artificial Intelligence
IDH	Índice de Desarrollo Humano	HDI	Human Development Index
IDI	ICT Development Index		
IGR	Information Society Level of Development (ISLD) to Gross Domestic Product (GDP) Ratio		
INF	Infostate		
ISLD	Information Society Level of Development		
MCMC	Markov Chain Monte Carlo		
NRI	Networked Readiness Index		
PCA	Principal Components Analysis		
PIB	Producto Interior Bruto	GDP	Gross Domestic Product
PMICTD	Partnership on Measuring ICT for Development		
PMt	Population Metcalfe		
PPA	Paridad de Poder Adquisitivo	PPP	Power Parity Purchase
SC	Sociedad del Conocimiento	KS	Knowledge Society
SI	Sociedad de la Información	IS	Information Society
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	ICT	Information and Communication Technologies
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones	ITU	International Telecommunication Union
U _{pop}	Urban population		
VIF	Variance Inflation Factor		
WWW	World Wide Web		

Figuras

Fig. 1 Correlación de ISLD con otros índices compuestos sobre la SI.....	22
Fig. 2 Regresión entre coeficiente Gini e IGR.....	24
Fig. 3 Variación de PIB per cápita para los 10 países de mayor IGR.....	24
Fig. 4 Variación del PIB per cápita para los 10 países con menor IGR.....	25
Fig. 5 Regresión entre emisiones de CO ₂ per cápita e IGR (Top25 países en emisiones de CO ₂ per cápita).....	25
Fig. 6 ECI+ vs Δ GDPpcPPP 2014-2019: regresiones lineales por clusters.....	32
Fig. 7 IGR vs Δ GDPpcPPP 2014-2019: regresiones lineales por clusters.....	32

Tablas

Tabla 1 Indicadores individuales escogidos	20
Tabla 2 Resumen de resultados de los distintos modelos basados en regresiones lineales múltiples.....	28
Tabla 3 Resumen de resultados en regresiones lineales múltiples ECI+/IGR según clusters.....	33

1. Introducción

La Sociedad de la Información (SI) es un concepto cada vez más presente en la literatura económica, sociológica, tecnológica y filosófica del último medio siglo. Desde hace décadas convenimos en decir que estamos en la “era de la información” aunque todavía no hayamos sido capaces de precisar del todo a qué nos referimos con ello. Ciertamente, el protagonismo creciente de la información en nuestras vidas está redefiniendo nuestras formas de organización económica, social y política. Algunos han considerado su advenimiento como una auténtica revolución, a la altura de las experimentadas desde la primera Revolución Industrial, íntimamente ligada a la extraordinaria difusión y adopción de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).

Pero el paradigma de la SI no resulta tan novedoso si se observa bajo la perspectiva de que la información no es sino la expresión de la complejidad, y de que la proliferación de esta complejidad es una tendencia inherente al desarrollo de la naturaleza viva. Ciertamente, desde el punto de vista físico, el segundo principio de la termodinámica nos explica que la entropía de un sistema aislado termodinámicamente tiende a crecer. Por así decirlo, el nivel de *desorden* de las estructuras de un sistema cerrado tiende a aumentar. A partir de la mecánica estadística, este segundo principio postula que, por mera probabilidad, las estructuras desordenadas tienden a acabar prevaleciendo, y extiende su validez a todos los rincones del Universo. El origen de este se remonta, como es bien conocido y de acuerdo con las teorías científicas más aceptadas hoy en día, a una explosión primigenia conocida como *Big Bang*, cuando la entropía se encontraba en valores mínimos, y a partir de ella ha ido evolucionando durante miles de millones de años siguiendo esta flecha de disolución a lo largo del tiempo que marca el crecimiento de la entropía hacia su máximo, el cual supondrá, presuntamente, la muerte térmica del Universo.

Sin embargo, entre tanto, en algunos subsistemas abiertos, como el de nuestro planeta, el proceso puede verse localmente revertido: la energía disponible que una estrella como el Sol proporciona permite que la materia presente algunas formas de autoorganización espontánea local alejadas del equilibrio que reducen la entropía. Así sucede con la materia inorgánica en la cristalización, la convección térmica de fluidos o la oscilación química. Pero si hay una forma de autoorganización, de *estructura disipativa* en términos de I. Prigogine, que destaca entre todas es la *vida*: la materia orgánica ha sido capaz no solo de formar estructuras ordenadas sino sistemas suficientemente sofisticados como para perpetuar ese orden. Aunque toda forma de vida individual está llamada a la extinción, es capaz de reproducir su propia estructura en sus descendientes, esto es, conservar la complejidad que reduce la entropía. Esta reducción local

de la entropía, del desorden o incertidumbre, es lo que desde muchas disciplinas se ha denominado *información*. Un ser vivo puede intercambiar todas las moléculas e incluso átomos que lo componen a lo largo de su vida. Lo que permanece es la información.

Dado que el ambiente al que estas formas de vida están expuestas es cambiante, sus estructuras biológicas no permanecen intactas, sino que evolucionan, mediante el conocido proceso de la selección natural que postuló Darwin: solo las que mejor han sido capaces de adaptarse al entorno han sobrevivido. Y aunque en determinadas circunstancias formas más simples han sido mejores en la tarea de la supervivencia ante las adversidades del ambiente, la tendencia general observada en la naturaleza viva es que la evolución ha primado la versatilidad, esto es, la capacidad para ofrecer distintas respuestas adaptativas ante las cambiantes circunstancias. Y esta versatilidad solo la pueden proporcionar estructuras cada vez más organizadas y complejas, es decir, capaces de encarnar, acumular y procesar un mayor nivel de información. La información genética es la estructura primordial heredable. A partir de ahí, el crecimiento de la información, de la complejidad, es la característica distintiva de las formas de vida, desde las células y tejidos, pasando por los individuos y las poblaciones, hasta las especies y los ecosistemas.

Aunque no podamos considerarnos la “corona” de la evolución, el caso del *Homo sapiens* es singularmente prolífico en el aumento de la información, esto es, en su complejidad cognitiva y social. La esfera social de la cultura es una expresión de máxima complejidad alcanzada por la naturaleza. Basta pensar en el abigarrado mundo simbólico de nuestras interacciones humanas. Toda esta complejidad humana ha sido desarrollada a lomos de un crecimiento de la información, en consonancia con la tendencia biológica natural. Esta complejidad es la que ha podido orquestar nuestras acciones incluso entre perfectos desconocidos, permitiéndonos protagonizar empresas inviables para otras especies. Desde que los homínidos comenzaron a cooperar entre sí con el intercambio de información en grupos mucho más extensos que los de otras especies animales, su dominio de la naturaleza emprendió el vuelo. La selección natural permitió el desarrollo de su capacidad craneal para procesar y retener información, lo que acabó perfeccionando su comunicación hasta alcanzar la *recursividad lingüística*: el lenguaje disparó la capacidad de nuestros antecesores para generar información y hacer de nuestro linaje el de la “especie simbólica” por excelencia. Los humanos más tempranos ya dejaron rastros en los primeros instrumentos de su capacidad para materializar las estructuras imaginadas por su cerebro, las cuales plasmaban físicamente esa información, sirviendo de protección, intercambio y transmisión. La cultura como acervo compartido de información útil para la supervivencia hizo que los *Homo sapiens* llegaran definitivamente a poblar prácticamente todos los rincones del planeta y domesticar en gran medida la naturaleza.

Durante siglos, las estructuras sociales de cooperación mantuvieron una línea creciente en el uso de la información. Fue este intercambio de información el que posibilitó la aparición del dinero y, con él, el crecimiento económico de importantes poblaciones humanas. La escritura, de hecho, emergió precisamente a partir de este intercambio económico, y floreció cuando las sociedades arcaicas comenzaron a legislar, plasmando la regulación del comportamiento humano que durante milenios había sido transmitida oralmente. Las sociedades de la antigüedad progresaron moderadamente con un creciente aparato burocrático, una mejora técnica del arte de la guerra y un aumento de la capacidad para generar riqueza, basados en formas de gestión de la información y su intercambio.

Sin embargo, ese crecimiento se vio espoleado con algunos hitos señalados, como la aparición de la imprenta, que permitió articular nuevas formas de cooperación y disidencia (p. ej. religiosa, política), que extendió el nivel de alfabetización de la población, que ayudó a depurar ostensiblemente la calidad de información intercambiada, y que en definitiva facilitó que se sistematizase la difusión de información y la adquisición de conocimiento. El cambio institucional y de mentalidades que la imprenta provocó acabó manifestada en la Revolución Científica (s. XIV-XVII), en la época Ilustrada (s. XVIII), y finalmente en la Revolución Industrial, que acabó hermanando definitivamente el conocimiento científico técnico con su aplicación sobre nuestras actividades económicas. A lo largo del siglo XX, la tecnociencia ha impulsado el desarrollo económico global hasta el punto de que hoy es una perogrullada decir que la difusión de la información, la adquisición de conocimiento, y su aplicación en la innovación y el desarrollo tecnológicos son factores cruciales en nuestra historia como especie.

En ese sentido, nuestra historia económica no escapa a esta tendencia global que subyace a la vida en el crecimiento de la información: un progresivo aumento de la complejidad de nuestras estructuras y organizaciones productivas, así como de la complejidad de los productos y servicios que consumimos. El valor de los objetos que adquirimos excede en mucho al de la mera materia prima de la que están hechos: reside precisamente en la información, en la estructura, que son capaces de encarnar y con la que contribuyen a ofrecernos su valor. Solo el crecimiento de la información y su intercambio explican los rendimientos crecientes de nuestra productividad: la producción artesanal basada en artefactos técnicos, la producción especializada por la división del trabajo y la creación de empresas, la producción en masa sistematizada basada en la tecnología, y, en las últimas décadas, la formación de macroestructuras multinacionales deslocalizadas que cooperan globalmente en la generación de valor gracias a las TIC.

Por eso, en los albores del siglo XXI, la llamada SI solo ha hecho explícito el hecho de que el crecimiento de la información, traducido en organización humana (control de los medios de

producción, control de la cooperación política...) y conocimiento de la realidad particularmente útil cuando es aplicado en la tecnología, ha sido el factor clave de nuestro desarrollo económico y humano. La SI, por tanto, sería un estadio de la historia hasta cierto punto *inevitable*, en el que socialmente se ha reconocido algo que en el fondo viene subyaciendo a la historia de nuestro planeta en el Universo: el crecimiento progresivo de la información y la complejidad como forma natural con la que sale adelante la vida.

Por tanto, la hipótesis de partida que plantea la presente tesis es que la SI representa un paradigma en cierto sentido “inevitable” dentro del desarrollo histórico, y que ello está íntimamente vinculado a su capacidad para contribuir al desarrollo económico y humano.

Esta “inevitabilidad” no se sostiene, como se explicará, en un sentido fuerte, estrictamente necesario o lógico, pero sí se considera como tendencia general que, con sus condiciones contingentes de posibilidad, sigue avanzando incluso a través de los caminos más tortuosos y a pesar de los retrocesos más amplios que puedan haberse dado en períodos concretos de la historia.

Esta tendencia inexorable en el largo plazo como hipótesis ha de tener un efecto comprobable en el valor adaptativo que logran tanto los organismos, como estructuras complejas que materializan la información, como las sociedades y las empresas humanas, en términos de su rendimiento económico. Las estructuras cada vez más complejas, articuladas por el intercambio cada vez más intensivo de información, ofrecen esta capacidad para favorecer el desarrollo y el crecimiento económico.

Por tanto, los objetivos de esta tesis son:

- Profundizar, en primer lugar, en la noción de información, sus bases teóricas, sus características más sustanciales, sus variantes de cuantificación así como su relación con otros conceptos hermanados como los de entropía y complejidad, dando cuenta del papel determinante y la capacidad explicativa que logra en disciplinas del conocimiento humano tan variadas como la física, la biología, la filosofía, la tecnología o la economía, para así ofrecer un marco propedéutico e iluminador al resto de la investigación.
- En segundo lugar, establecer a la luz de las bases teóricas previas una investigación sobre el hilo conductor que representa la historia del crecimiento de la información y de la complejidad en nuestro planeta, desde las formas de vida más elementales hasta las organizaciones humanas más sofisticadas, y cómo esta historia de crecimiento sostenido de la información mantiene una íntima relación con la del desarrollo económico y humano.

- En tercer lugar, analizar específicamente el impacto que este crecimiento de la información ha encarnado en el conocido paradigma de la “Sociedad de la Información” de nuestros días, revisando las investigaciones que han conceptualizado esta noción, y analizando los aspectos más controvertidos que la caracterizan.
- En cuarto lugar, elaborar una propuesta de cuantificación de la SI que permita caracterizar de forma sólida y flexible su presencia y difusión.
- En quinto y último lugar, evaluar empíricamente a través de esta propuesta de cuantificación la contribución de la SI al desarrollo económico y humano en conjunción con otras métricas complementarias asociadas a la complejidad económica.

La presente tesis se ha abordado con la combinación de dos tipos de metodologías distintas. La primera metodología ha sido de tipo analítico, con el estudio exhaustivo de los conceptos manejados en la investigación, como el concepto de información (capítulo 2) o el de Sociedad de la Información (capítulo 4). Esta metodología analítica ha puesto su atención, ante todo, en las definiciones, evoluciones terminológicas, orígenes, cuantificaciones... con una referencia constante a la bibliografía existente al respecto. Su principal pretensión ha sido la del esclarecimiento conceptual y la capacidad para iluminar la tesis en su conjunto.

La segunda metodología empleada ha sido de tipo hipotético deductivo. Esta metodología ha partido de la enunciación de la hipótesis y ha procedido a su contraste y evaluación de dos formas: cualitativa y cuantitativamente. La hipótesis de partida en lo que se refiere a la inevitabilidad histórica de la SI, al tratarse de una afirmación en sentido débil o tendencial, ha recurrido a una contrastación y evaluación de tipo fundamentalmente cualitativo, centrado en la recopilación de evidencias y características que proporcionasen un grado suficiente de verosimilitud a la hipótesis de partida, tal y como se ha realizado con profusión a partir de multitud de ejemplos, patrones, referencias y estudios recogidos a propósito de la historia del crecimiento de la información (capítulo 3). En lo que se refiere a que esta SI constituye un paradigma que contribuye al desarrollo económico y humano, la metodología hipotético-deductiva ha establecido una contrastación y evaluación de tipo cuantitativo, con la recopilación de datos diversos, el tratamiento estadístico de los mismos y la aplicación de técnicas de validación empírica.

Estas metodologías se han desplegado transversalmente a lo largo de la tesis que, tras este capítulo 1 dedicado a la introducción, se estructura en los siguientes capítulos, todos ellos anticipados con una introducción y cerrados con unas conclusiones:

- *Capítulo 2. La información: bases teóricas y campos de aplicación.* En él se realiza un análisis de la noción de información que de entre sus múltiples acepciones permita

recoger los rasgos definitorios más relevantes y de interés para el resto de la investigación. Asimismo, en este capítulo, se observa cómo este concepto ha permeado multitud de disciplinas y ciencias, planteando la primera evidencia a favor del omnipresente crecimiento de la información, manifestado en la adopción de este concepto de forma multidisciplinar mucho más allá de una moda pasajera o un paradigma actual.

- *Capítulo 3. Historia del crecimiento de la información: evidencias y características.* En este capítulo se discute y matiza el planteamiento de la tesis de la inevitabilidad histórica para, a continuación, repasar la historia de este crecimiento de la información en nuestro planeta. Esta historia conecta el relato biológico del tiempo geológico, desde la abiogénesis hasta el crecimiento de la biodiversidad y los procesos de acumulación de complejidad biológica, con el relato sociopolítico y económico del tiempo histórico, jalonado a través de las grandes revoluciones de la información y las principales civilizaciones e hitos históricos hasta la última de las revoluciones de la información que ha alumbrado la SI. En este relato, la contribución al desarrollo económico y humano se muestra a través de los múltiples episodios y etapas analizados.
- *Capítulo 4. La cuarta revolución de la información y el desarrollo económico.* En este capítulo se profundiza especialmente en el concepto de la SI, en sus primeras aproximaciones académicas y científicas, cualitativas y cuantitativas, y en su conexión con la historia anterior. Asimismo, se recorren los estudios que han planteado su establecimiento como un nuevo paradigma para el desarrollo y el crecimiento económico, así como al horizonte que nos cabe esperar en el futuro.
- *Capítulo 5. Una propuesta de cuantificación de la SI: índices ISLD e IGR* Este capítulo entra de lleno en la parte empírica de la tesis, con la elaboración de dos índices compuestos para medir la SI de forma estadísticamente solvente y robusta, capaz de servir para el estudio de otros parámetros de desarrollo económico y humano.
- *Capítulo 6. Evaluación empírica de la contribución de la SI al desarrollo económico y humano.* En este capítulo se ejecuta una validación empírica de los índices anteriores en dos escenarios distintos (2009, 2014-2019), para confirmar la hipótesis de partida en lo concerniente al desarrollo económico y humano.
- *Capítulo 7. Conclusiones generales.* Este capítulo cierra la tesis con las conclusiones.

Adicionalmente la tesis cuenta con dos capítulos destinados a los anexos y la bibliografía empleada, aquí resumida.

2. La información: bases teóricas y campos de aplicación

En este capítulo se analizan las bases teóricas del concepto de *información*, cuyas múltiples acepciones han requerido de precisiones semánticas y conceptuales de categoría filosófica, pero con una aplicación directa en múltiples disciplinas. Aunque no exista un consenso definitivo y único en torno a su significado, se ve cómo la información se caracteriza por algunos rasgos bastante bien identificados como su naturaleza diafórica (hecho diferencial), su neutralidad taxonómica, su neutralidad ontológica o su neutralidad genética, entre otros. Estos rasgos nos permitirán más adelante entender el comportamiento y evolución a lo largo de la historia, así como su contribución al desarrollo económico y social.

Además, para alcanzar esta especificación cuantitativa, se comprueba la íntima relación que existe entre la noción de entropía e información. Si es la entropía la magnitud que permite cuantificar el nivel de incertidumbre (a nivel epistémico) y de desorden o de energía no disponible (a nivel físico), la información es aquella otra que permite reducir esta incertidumbre (a nivel epistémico) y de revertir ese desorden (a nivel físico) al ser capaz de materializarse en la realidad como forma, estructura o complejidad de los sistemas físicos, los ecosistemas biológicos, o las organizaciones humanas. En ese sentido, se comprueba cómo el concepto de complejidad y su cuantificación se hallan íntimamente relacionados con los de la información, y eso será especialmente relevante cuando analicemos la aparición de la vida, el desarrollo y evolución de la misma hacia formas más complejas, el proceso de encefalización y hominización, la evolución en la complejidad de las arquitecturas sociopolíticas humanas, los logros tecnológicos de la historia humana y los hitos en el aumento exponencial de la información extrasomática. Todo ello lo veremos en el próximo capítulo.

Finalmente, se comprueba en este capítulo que los campos de aplicación en los que ha penetrado el concepto de información, asociado a sus conceptos hermanos de entropía y complejidad, han sido numerosísimos. Aunque todavía en proceso de desarrollo, es difícil imaginar hoy la progresión de disciplinas como la física, la química, la biología, la antropología, la sociología, la historia, la filosofía o la economía sin que la información detente un papel enormemente relevante. Y se advierte con este repaso que la centralidad del concepto de información no resulta ser meramente instrumental o coyuntural sino que apunta a un carácter decisivo e íntimo de la realidad que, desde múltiples ópticas, abordan estas disciplinas.

Este capítulo sirve, en definitiva, para sentar las bases de una comprensión suficiente del concepto de información que permita alumbrar los siguientes capítulos, que comienzan por abordar la historia concreta de la evolución de la información en nuestro planeta desde que apareció la vida.

3. Historia del crecimiento de la información: evidencias y características

Después de haber analizado las principales conceptualizaciones de la información y su relación con las de complejidad, así como el uso que se les ha dado en muy distintas disciplinas epistemológicas, es posible introducirnos en el segundo de los objetivos de esta tesis: establecer una investigación sobre la historia del crecimiento de la información y de la complejidad en nuestro planeta, desde las formas de vida más elementales hasta las organizaciones humanas más sofisticadas, y cómo esta historia de crecimiento sostenido de la información mantiene una íntima relación con la del desarrollo económico y humano.

A lo largo de este capítulo se muestran las distintas evidencias y características con las que la información ha crecido a lo largo de la historia de nuestro planeta hasta desembocar en la llamada SI. Al describir el patrón de este crecimiento, se ha acudido con prudencia pero también con solvencia a multitud de fuentes científicas y autores que asisten y permiten edificar esta tesis del surgimiento de la SI como históricamente inevitable.

Afirmar que existe una *inevitabilidad histórica* hasta el surgimiento de un fenómeno como el de la llamada SI es una tesis que así formulada puede ser malinterpretada por osada, y que por tanto cabe matizar. Para empezar, introduciéndonos con cautela en la historia del crecimiento de la información en nuestro planeta, que se ha ido produciendo irregularmente pero de forma sostenida bajo una perspectiva temporal enormemente amplia. Tan amplia que excede la clásica concepción de la *historia* como relato centrado en el sujeto humano y el registro documental de los hechos históricos que lo han acompañado, remontándose hasta el origen de la propia vida en el planeta. Pero que enseguida encontrará en el propio *Homo sapiens* un ejemplo paradigmático del crecimiento de la información, y que por tanto, conectará con la noción habitual de historia y sus corrientes y sucesos más relevantes. Esta amplitud temporal facilita que puedan volverse más laxos los criterios con los que escrutar en los hechos del pasado patrones y categorías comunes. Sin embargo, la ambición de esta empresa no evita que la afirmación de esa *inevitabilidad histórica* deba fundamentarse y matizarse, aprovechando mínimamente las reflexiones que se han hecho sobre la viabilidad de identificar tendencias evolutivas y la posibilidad de alumbrar una historia capaz de encontrar cierta racionalidad en su curso, de construir un marco global explicativo de la realidad histórica conocida.

Al comienzo de este capítulo, no obstante, se matiza convenientemente el significado de “inevitabilidad histórica”, especificando que se trata de una *tendencia* consustancial al comportamiento de la realidad biológica. Esta tendencia ha ido manifestándose no solo a lo

largo del tiempo geológico, sino también histórico, a pesar de muy diversos reveses, extinciones masivas o retrocesos seculares, que en ocasiones evidenciaron su fragilidad y contingencia.

Sin embargo, se va constatando que de facto el crecimiento de la información se ha ido abriendo camino desde el mismo proceso de abiogénesis que dio origen a la vida en la Tierra y que constituyó un primer fenómeno de acumulación de información. A partir de ahí, la información plasmada en el ADN fue desarrollando estructuras cada vez más complejas, ampliando las ramificaciones del árbol de la vida, los géneros, el tamaño y la complejidad de las especies. Dentro de este crecimiento, este capítulo recoge cómo la encefalización se impuso como ventaja adaptativa en diversas especies animales tras la última gran extinción, gracias a las ventajas del procesamiento centralizado de la información.

El proceso de hominización que dio origen al ser humano constituyó un proceso de singular encefalización entre las especies, realimentado por las primeras formas de tecnología como información extrasomática impresa en la realidad (tecnología lítica, tecnología ígnea...). Un itinerario de millones de años logró que el género homo alcanzase el cociente de encefalización más alto de la naturaleza, mejorando en cada nueva ramificación la capacidad adaptativa de sus especies. Entonces, tras superar el dilema obstétrico al que se enfrentó el aumento del encéfalo, la información encontró otra vía para seguir creciendo: el intercambio y transmisión de información por aprendizaje social que sustenta la *cooperación* hizo del Homo sapiens la especie *cultural* por excelencia, que se impuso con ello sobre las demás especies humanas.

A partir de la aparición de la esfera cultural se observa cómo se han producido las cuatro grandes revoluciones culturales de la información, que hicieron crecer a ésta en distintos vectores gracias a los soportes y tecnologías que la hicieron más perdurable y extensible a través del tiempo y el espacio. Todo comenzó con la revolución del lenguaje, como paradigma de la cooperación, y cuyo potencial y creciente complejidad facilitaron el triunfo de la especie lingüística y la aparición del comportamiento conductual moderno. El lenguaje y todo el aparato simbólico soportado por él permitieron establecer las primeras formas de intercambio económico y el surgimiento como tal del dinero mercancía, con todas las ventajas económicas que ello supuso. Fue el lenguaje, capaz de articular la cooperación y la división del trabajo, el que posibilitó la Revolución Neolítica y la enorme transformación económica y social que ella conllevó.

La expansión y desarrollo de las primeras civilizaciones en torno a las cuencas fértiles de los principales ríos no habría sido posible sin la revolución de la escritura, esa segunda revolución de la información que facilitó la emergencia de los aparatos burocráticos, el aprendizaje sostenido, la aparición de la ciencia antigua, y la extensión de los ciclos de crecimiento, apogeo

y declive de las distintas civilizaciones y culturas que precisamente gracias a la escritura nunca llegaron a extinguirse del todo. En este capítulo se comprueba cómo la escritura emergió precisamente del intercambio económico y favoreció las primeras acumulaciones de conocimiento significativas. Ese intercambio económico se intensificó en culturas en las que el intercambio y la depuración de información se aceleraba, de la mano de innovaciones como la del alfabeto de fenicios y griegos, facilitando el acceso a la creación del conocimiento y expandiendo la revolución científica de la antigüedad que protagonizó el mundo heleno. Sobre esas bases se articuló la estructura de Roma, orquestada a través de potentes redes de comunicaciones por las que circularon las legiones, los negocios, los esclavos y la cultura romana que predominó durante siglos y se manifestó en una tradición escrita que dejaría su impronta hasta nuestros días.

En conexión a través de la ruta de la seda este capítulo relata cómo, en el otro extremo euroasiático, China emergería como la principal potencia y economía mundiales durante casi dos milenios, capaz de compatibilizar una tradición meritocrática confuciana con una innovación pragmática a través de inventos tecnológicos de enorme relevancia para el crecimiento de la información como el papel o la imprenta xilográfica. Su expansión hacia el oeste acabó poniendo en manos del pujante mundo musulmán el secreto del papel, originando en buena medida la Edad de Oro del islam, con la asimilación cultural del legado grecorromano, el desarrollo de una ciencia islámica pionera y la innovación técnica y comercial afín al cultivo del conocimiento en casas de sabiduría y madrasas. En el capítulo se describe cómo la inspiración religiosa que la Sharía inoculó en el hombre musulmán para cultivar el conocimiento, y que llevó inicialmente al estímulo de este crecimiento de la información y a su apogeo cultural y económico, comenzó a desacelerarse cuando los prejuicios ideológicos arrinconaron la producción científica y la acumulación de información útil.

El episodio mongol muestra cómo todavía en este tiempo una cultura ágrafa y nómada podía imponerse sobre culturas sedentarias y alfabetizadas, aprovechando los mecanismos de información y complejidad disponibles a su alcance, como los sistemas de mercaderes informantes, la propaganda, las redes y rutas comerciales, la organización decimal del ejército o la adopción de tecnologías y técnicas militares de asalto y conquista bajo una férrea disciplina e instrucción. Su hegemonía durante alrededor de una centuria posibilitó la difusión tecnológica de innovaciones como la pólvora china que todavía permitirían a los imperios de la pólvora musulmanes brillar y prevalecer, con potentes maquinarias como la del Imperio otomano que llegarían a conquistar bastiones otrora infranqueables, como el corazón bizantino de Constantinopla, o a desarrollar economías protoindustriales, como la del Imperio mogol. Sin embargo, el empuje musulmán acabaría viéndose rezagado cuando una emergente Europa, a la

que también llegaron estas innovaciones, lograrse aprovechar de forma mucho más eficiente la acumulación de información para seguir ampliándola e innovando en su producción.

Ciertamente, se ve cómo la Alta Edad media europea supuso un cierto repliegue de la información, tras la pérdida del papiro y el desmoronamiento del Imperio romano de Occidente, cuya estructura quedó replicada en la Iglesia de Roma que a duras penas conservó en costosos y duraderos códices buena parte del legado cultural. Con el viento favorable del *óptimo climático medieval*, este capítulo revisa cómo se fue produciendo en la Baja Edad media europea un nuevo despliegue de información, con la dinamización comercial, el surgimiento de las ciudades y la aparición espontánea de los centros de transmisión de información como las universidades. Todo ello en un proceso de progresiva crisis de la economía feudal altomedieval y el florecimiento de las primeras prácticas del capitalismo moderno en los burgos más densamente poblados, aprovechando la aparición de actividades y estructuras más complejas con la interacción entre individuos. La Crisis del siglo XIV, si bien socavó temporalmente buena parte de estas prometedoras corrientes, sirvió como un acicate para estimular por un lado la adopción tecnológica que llegaba por las rutas comerciales a este extremo euroasiático del mundo conocido que representaba Europa; y por otro lado, sirvió de estímulo a la innovación tecnológica ante la falta de mano de obra que la Peste Negra y múltiples conflictos ocasionaron. Hemos visto cómo el superávit de ropa y con él el abaratamiento y la difusión del papel, así como la confluencia de tecnologías y corrientes humanistas en territorio europeo fueron operando un cambio de mentalidad progresivo que iría agotando las últimas décadas medievales hasta la tercera de las revoluciones de la información.

La imprenta emergió de la confluencia de una serie de corrientes que convergieron en un fértil terreno europeo para su adopción y difusión. Y, tal y se comprueba en este capítulo, la imprenta desencadenó una serie de transformaciones como un auténtico agente de cambio. Su arraigo comenzó como un proyecto de negocio para competir en el succulento mercado de los códices, y ocasionó un primer impacto relevante en el fecundo mercado europeo ávido por consumir y expandir su producción de información (indulgencias eclesiales, biblias, archivos, bibliotecas, universidades, escritos humanistas, traducciones clásicas, novelas caballerescas...). Pero enseguida pudo observarse cómo la imprenta impulsó el desarrollo empresarial y legal favorables a las primeras prácticas del capitalismo comercial, ocasionando un impacto económico de enorme relevancia en el desarrollo urbano. En esa línea, también se observa cómo la imprenta alimentó poderosamente la curiosidad por los descubrimientos geográficos y ayudó a expandir la información de aquellos que venían a responder a la necesidad económica europea de acceder al corazón del comercio mundial que seguía residiendo en el extremo oriental. Fue así cómo los europeos, de la mano de la ampliación de información para mejorar sus economías, ampliaron

y proyectaron globalmente su poderío, con el descubrimiento de un nuevo continente y la explotación de sus distintos imperios coloniales.

Sin embargo, se comprueba también cómo la magnitud del impacto de la imprenta fue tal que tuvo a corto plazo importantes efectos que dinamitaron la vida europea, favoreciendo la disidencia religiosa y enquistándola hasta desestabilizar cualquier intento hegemónico que se pretendiera proyectar en Europa. La Reforma protestante de la mano de la imprenta muy pronto cristalizó revulsivamente en Europa una demanda creciente por la autonomía, que favoreció decisivamente la alfabetización y que sería imparable, a pesar del intento contrarreformista por detener y controlar en su favor este crecimiento de la información. Las guerras de religión ocasionaron destrozos innegables, pero acabaron haciendo fraguar la histórica fragmentación europea. La competitividad entre estas potencias favoreció la innovación, y detrás de cada frontera un batallón de imprentas estaba dispuesta a difundir y a aprovechar las ideas proscritas al otro lado. Aquellas regiones en las que permeó más este dinamismo del crecimiento de la información provocado por la imprenta, en contextos urbanos y comerciales, comenzaron a ofrecer una respuesta muy distinta cuando surgieron obstáculos y retos de entidad. En ese sentido, se comprueba cómo pequeñas potencias como la de los Países Bajos lograron evadirse del hercúleo poderío español, que acabaría consumido por las deudas y los impuestos, gracias al dinamismo económico incentivado por sus urbes abiertas y razonablemente liberales en la producción de información de sus imprentas. La crisis del siglo XVII con diversos episodios particularmente graves como los de la *Pequeña Edad de Hielo* mostrarían cómo la respuesta de las distintas potencias europeas fue diferente, y tras el Siglo de oro neerlandés que concentró innovación, crecimiento económico y poderío militar y cultural, sería Inglaterra la que con su particular historia tomaría el relevo.

Y es que también se comprueba cómo la imprenta, tras el estallido religioso y la crisis de legitimidad, ocasionó una ola de transformación ideológico-institucional. La contención de las revueltas y conflictos religiosos tras Westfalia no impidió que la competencia innovadora europea prosiguiese. En ella, el modelo expansivo del absolutismo mercantilista francés durante el *Grand Siècle* acabaría claudicando frente al modelo inglés emergido de la Revolución inglesa: allá donde crecientes capas de la población se organizaron a través de la imprenta y la propaganda y lograron acceder a la participación política, los mecanismos de democratización y liberalización crecieron, protegiendo la innovación a través de patentes y favoreciendo la libertad de prensa estimularon el ascenso nacional gracias a que abrieron importantes brechas al crecimiento de la información, como la transparencia que abarata la financiación nacional o el propio crecimiento económico en términos de renta per cápita. A partir de ahí, los torrentes de información abiertos por la imprenta para su crecimiento estimularon la experimentación

teórica y después práctica de cambios culturales. Entre ellos, sin duda, destacó el desplazamiento de la base ideológica religiosa premoderna, tras el hastío de las guerras y conflictos religiosos, por la del nacionalismo aglutinador de voluntades. Pero también la de un movimiento cultural como el de la Ilustración, que operó un cambio de actitud revolucionario hacia el conocimiento y la conveniencia y factibilidad del progreso material a través de él. El cambio institucional ocasionado a la larga con la imprenta en Europa permitió el desarrollo de las revoluciones burguesas como la francesa, la americana o el conjunto de revoluciones liberales posteriores orquestadas, en tantas ocasiones de forma panfletaria, gracias a la imprenta.

La tercera revolución de la información acaecida con la imprenta traería consigo un aumento de esa información útil en lo que se describe como la explosión científico-tecnológica e industrial. A estas alturas, se ha mostrado cómo, entre las distintas explicaciones institucionales, culturales o coyunturales para explicar el singular fenómeno de la Revolución Industrial, el crecimiento de la información singularmente posibilitado por la imprenta ha sido capaz de ganarse un espacio y una importancia privilegiados. En ese sentido, el capítulo muestra cómo la “Ilustración industrial” posibilitada por la imprenta se halla en el corazón del fomento y la acumulación del capital humano que se produjo en Europa, gracias a la alfabetización creciente de las poblaciones, y a la consecuente acumulación de información útil para el crecimiento. Una de estas acumulaciones fue sin duda la del conocimiento propositivo, aquel concerniente a la descripción y explicación de la naturaleza, que permitió *a hombros de gigantes* su depósito hasta alumbrar la Revolución Científica, crucial y en ocasiones menospreciado evento europeo.

A partir de ahí, se observa que el crecimiento de la información se ha encontrado alojado al fondo de los distintos procesos que alumbraron el que probablemente, tras la Revolución del Neolítico, sea el hito económico más relevante en la historiografía económica: en la historia de la paradigmática Revolución Industrial el crecimiento de la información reverberó en procesos como el crecimiento del conocimiento científico y técnico, el cambio de mentalidades y los cambios institucionales aparejados, así como en un particular crecimiento de la complejidad, como información plasmada. Este crecimiento de la complejidad se evidenció de múltiples formas tanto en la aglomeración urbana, la división del trabajo, la formación de estructuras de cooperación como las fábricas, o, por supuesto, la innovación en forma de nuevas tecnologías al servicio de la producción. La información como combustible y nexo permitió maridar el conocimiento científico y técnico hasta acabar provocando la llamada Gran divergencia europea, que sin la imprenta resultaría inexplicable y que permitió al Viejo Continente dominar durante varios siglos prácticamente el mundo entero. El gigante chino acabaría siendo alcanzado por estas pequeñas naciones impulsadas por la información que lo sobrepasarían de forma casi exponencial, y la demografía y la riqueza globales crecieron con ello. Solo cuando

algunos países como Japón supieron absorber el conocimiento tecnocientífico lograron incorporarse a esta explosión económica. El crecimiento de esta tecnociencia en la base de las potencias europeas acabaría haciendo que su competencia se tornase peligrosa para todos, lo que finalmente mermaría su hegemonía mundial tras la Segunda Guerra Mundial. Pero el crecimiento de la información había alcanzado estos niveles y no iba a retirarse: la *Big Science* y la tecnociencia, que habían decidido la devastadora contienda, alumbraban una nueva era atómica, la de la Guerra Fría, en la que el compromiso estatal y la financiación de potentes proyectos haría que la acumulación e innovación de nuevas tecnologías acabase generando una nueva revolución de la información: la revolución de las TIC y la aparición de la SI, que veremos en el próximo capítulo.

Por todo esto, se ha visto cómo, lejos de coquetear con una suerte de historia determinista, evolucionista o de progreso, este planteamiento ha permitido observar cómo el concepto de información y su creciente acumulación y procesamiento a lo largo de la historia permiten conciliar algunas de las principales teorías de la historia que han tratado de comprenderla. Por ejemplo, las clásicas versiones materialistas e idealistas. Entre los seguidores de Marx y los de Weber, es posible encontrar en la información ese vértice común que explica cómo la información encarnada en la estructura material, esto es, la complejidad de los medios de producción condiciona drásticamente el devenir de los acontecimientos históricos, ofreciendo además una muestra clara en la que esta complejidad va dejando de hallarse en los medios naturales para encontrarse cada vez más en la acumulación y la innovación tecnológicas; y al mismo tiempo, es posible entender cómo esta información, intercambiada y compartida entre los grupos humanos que compiten y cooperan, transforma en ocasiones decisivamente el curso de la historia, cuestionando siglos de cooperación basados en determinados marcos de legitimidad que se reconfiguran en nuevas organizaciones sociopolíticas más eficientes, por ejemplo desde el punto de vista económico. La información es el concepto crucial que proporciona la síntesis mediante la cual el enfoque materialista de la historia es así compatible con una historia de las mentalidades y las ideas, en permanente realimentación, sin que se obvien los matices y las relaciones que cualquiera de las visiones unilaterales pierden inexorablemente por sí solas.

Existen indudablemente algunas limitaciones en esta aproximación. Es evidente que este planteamiento a propósito de la historia del crecimiento de la información extendida hasta el origen de la vida en la Tierra es un fenómeno tan sumamente complejo que analizarlo bajo una explicación global solo sería factible si esta explicación es suficientemente generalista y amplia. Por eso, la metodología empleada no ha podido ir más allá de una recopilación de hechos, teorías y trabajos de investigación que corroboran esta tendencia al crecimiento de la

información y la complejidad, corriendo siempre el riesgo de acabar disolviéndose o de resultar excesivamente vaga y carente de capacidad explicativa. Cualquier intento de sostener una inevitabilidad histórica de este tipo debe ser argumentado de forma fundada como aquí ha tratado de realizarse, aunque prudente y tentativa dentro de estas limitaciones.

No obstante, la contundencia de los centenares de fuentes, estudios y evidencias aquí recopilados parecen corroborar la hipótesis de partida. Hasta el punto de que incluso podría plantearse la posibilidad de reconsiderar las periodizaciones que tradicionalmente se han manejado en la historiografía económica: el recorrido somero que acabamos de hacer por multitud de épocas y civilizaciones ha sido capaz de explicar en buena medida su evolución a través de ejes fundamentales relacionados con el crecimiento de la información y la complejidad: la información extrasomática (lenguaje, escritura, alfabeto, papiro, códice, papel, imprenta, libro impreso, panfleto, periódico...); el desarrollo tecnológico (acumulación de complejidad en artefactos como materialización de información útil); y la organización y participación sociopolítica (cooperación basada en el intercambio intensivo de información). Veamos ahora cómo a las tres revoluciones de la información que proporcionarían este marco referencial, les sucedería la cuarta revolución de la información, la de las TIC, y la llegada como tal de la SI.

4. La cuarta revolución de la información y el desarrollo económico

La noción de SI ha ido ganando protagonismo en la literatura académica y popular, especialmente en el último medio siglo. Realizar una revisión de la literatura que ha ido conceptualizando, midiendo y explicando la SI no es una tarea obvia, fundamentalmente por dos motivos: el primero, porque es un concepto razonablemente contemporáneo para el que no es factible la necesaria perspectiva y distancia históricas. El segundo motivo es porque no existe, de hecho, un concepto universalmente aceptado que delimite lo que es y no es la SI.

Muchos teóricos coinciden en que las transformaciones sociales que han suscitado este concepto comenzaron en torno a la década de 1970, y que han ido acelerándose en sucesivas olas permeando cada vez más el debate y las líneas de investigación. Este proceso ha contado con hitos significativos como los de la apertura del bloque comunista tras la caída del Muro de Berlín en la década de los noventa, o como el acontecido durante la primera década del siglo XXI con la difusión y adopción masiva de las TIC. Este consenso se extiende en que la SI es un paradigma social en el que el uso, la creación, la distribución, la manipulación y la integración de la información son actividades de una relevancia indiscutible para explicar el funcionamiento social a múltiples niveles.

Al igual que las primeras revoluciones de la historia del crecimiento de la información, en esta ocasión asistimos a un nuevo episodio en el que la tecnología, como encarnación de la propia información o complejidad, vuelve a provocar un punto de inflexión en su crecimiento: si la tecnología de la escritura hace cuatro mil años, o la tecnología de la imprenta hace cinco siglos fueron elevando exponencialmente nuestra producción de información, las TIC del siglo XX y comienzos del XXI está protagonizando un nuevo salto. Las TIC no solo han acelerado increíblemente nuestra capacidad para producir información, sino que además han ampliado enormemente su variedad de formas hacia todo tipo de expresiones audiovisuales. El impacto de este crecimiento de la información está afectando a múltiples aspectos de la organización social, como la educación, la economía, la salud, la administración pública, las relaciones políticas, la guerra y al propio sistema democrático.

En este capítulo se realiza un recorrido por esta cuarta revolución de la información, identificada como el advenimiento de la SI. Para ello, comienza revisando cómo el proceso de la Revolución Industrial alcanzó, después de sucesivas olas de innovación tecnológica, a aquellas tecnologías directamente relacionadas con el tratamiento y la intercomunicación de la información y que convergieron en las TIC. El hilo conductor del último par de siglos se aceleró específicamente cuando el dominio de los semiconductores hizo converger definitivamente la

historia de las telecomunicaciones con la historia de la computación, alumbrando una nueva era tecnológica. El impulso que movió esta transformación estuvo relacionado precisamente con la necesidad de gestionar un volumen cada vez mayor de información inherente al desarrollo de la propia Revolución Industrial, que hacía de las actividades de las sociedades industrializadas una amalgama cada vez más compleja. Así emergió el fenómeno de la *digitalización*, como un mecanismo que mejoró las capacidades de los distintos soportes y sistemas de procesamiento y telecomunicación analógicos de información, fechándose habitualmente el año 2002 como el año que dio comienzo a la *era digital*, gracias al enorme abaratamiento de las TIC y al difícilmente reversible salto al formato digital. El crecimiento de la información, entonces, explotó decisivamente cuando a partir de la década de 1990 la extensión de Internet permitió a un número exponencialmente creciente de usuarios y dispositivos sumarse al almacenamiento e intercambio de información digital que se proyecta ya en lo sucesivo en decenas de *zettabytes*.

En este capítulo se recorre entonces a los principales autores que a partir de la década de los años 60 y 70 del siglo XX comenzaron a conceptualizar la SI y a todo el ecosistema de conceptos hermanados con ella como los de *sociedad post-industrial*, *post-fordismo*, *sociedad del conocimiento*, *sociedad telemática*, *revolución de la información*, *sociedad en red*, *era digital*, *economía del conocimiento*... Hemos visto cómo todos estos conceptos fueron ganando protagonismo en la literatura de las ciencias sociales, incluida la economía, y tomaron un cariz por lo general bastante optimista y utópico, que se prometía que con la llegada de una era presidida por el conocimiento muchos de los problemas históricos humanos serían reducidos a un mal recuerdo del pasado. Para cuantificar y tratar de hacer objetivos tan etéreos conceptos, se han recopilado cómo las primeras propuestas analizaron numéricamente las crecientes tasas de la fuerza laboral correspondiente a los *trabajadores de la información*, o las del volumen de un sector específicamente identificado con la gestión de la información.

Aunque estas visiones fueron ganando fuerza, también fueron criticadas como aproximaciones basadas en meros *re-etiquetados* de las mismas actividades sin solución de continuidad de las sociedades capitalistas del último cuarto de siglo XX. Pero como el despliegue de las TIC fue permeando cada vez mayores capas de la población, el debate académico pasó a ocupar a cada vez más analistas en diversos sectores, singularmente cuando Internet irrumpió en la década de 1990. Entonces la atención se centró en este fenómeno que por fin dio respuesta a partir de aquellos años a la paradoja de la productividad que se había formulado sobre las TIC, que hasta entonces no habían logrado arrojar mejoras perceptibles en el rendimiento económico prometido. A lomos de las *autopistas de la información*, la *nueva economía digital* fue generando una inflación de expectativas cada vez mayores en la década de los noventa hasta

que con el cambio de milenio se produjo la primera crisis de las TIC conocida como burbuja de las *punto com*. El fenómeno tuvo cierta exuberancia irracional y, aunque no tuvo un impacto determinante sobre las economías, hizo que las críticas que el concepto de SI había suscitado comenzasen a ganar fuerza, al menos para matizar y cuestionar algunos aspectos que permitieran refinar sus aristas y aplacar tanto triunfalismo postsoviético.

De esta forma, se revisitan algunas de las principales críticas al concepto de SI que afloraron y se hicieron fuertes precisamente a partir de aquellos años. La crítica ideológica se centró sobre todo en el determinismo tecnológico que el discurso del capitalismo global habría impregnado en toda la narrativa de la SI. Las críticas a la dimensión económica de la SI, más allá de la aparentemente vencida paradoja de la productividad, pusieron en cuestión las bondades que las TIC podían ofrecer realmente para los países en vías de desarrollo y sembraron dudas sobre el carácter desestabilizador de este tipo de tecnologías que propagaban el pánico en los mercados. A estas críticas se sumaron profundos desafíos que incluso hoy siguen en cierto grado atenazando al paradigma de la SI y su contribución al desarrollo económico y humano como es la brecha digital o la fuga de cerebros, en un mundo cada vez más interconectado y expuesto a profundas transformaciones. Hemos cerrado este apartado revisando dos últimos desafíos: el impacto medioambiental de las TIC y su sostenibilidad, con luces y sombras; y la paradoja que supone la sobrecarga de información o *inforización*, que enseguida proyecta importantes dosis de incertidumbre y perplejidad en un nuevo período revolucionario de la información para nuestras democracias liberales y capitalistas.

Antes de adentrarnos en la exposición de la relación positiva entre desarrollo de la SI y desarrollo económico y humano, se revisa un dilema conceptual, pero de cierto calado para la identificación del fenómeno entre la SI y la SC. En ese hito se muestran los motivos por los que esta tesis ha adoptado la denominación de la SI, como expresión que mejor se corresponde a la superabundancia de información que puede percibirse, y que nos lleva no solo a una caracterización de esta revolución de la información más allá de las TIC, sino que además nos permite establecer un marco conceptual para las aproximaciones empíricas necesarias que evalúen el fenómeno.

Dicho esto, se observa que, a pesar de la dificultad de medir la SI, ésta ha ofrecido importantísimas evidencias a lo largo de las últimas décadas sobre el crecimiento económico, no solo en el despegue de los años noventa, sino también en las décadas siguientes, singularmente con las TIC como principal punta de lanza, aunque no a solas. Constatar el escurridizo efecto de las TIC no nos ha impedido observar también cómo su crecimiento está íntimamente relacionado con el de la complejidad que, como se reitera a lo largo de la tesis, es un concepto íntimamente ligado al de información. A continuación, se recogen algunas de las

evidencias más relevantes y, en general, la creciente alusión en la literatura económica a este vínculo entre las TIC y el crecimiento económico, tanto en países desarrollados como en aquellos países emergentes que han logrado adecuar esta creciente asimilación de la SI. Gracias a las TIC, estos países en ocasiones han logrado incluso efectuar saltos cualitativos como *atajos* del estilo del *leapfrogging* estrechando la brecha que los separa de las regiones más desarrolladas del planeta. Este crecimiento, además, ha logrado mostrarse resiliente incluso ante un nuevo embate como el de la Gran Recesión de 2008 que, si bien ha generado debate en torno al posible fin de una ola de innovación liderada por las TIC, ha logrado resistir y proyectar un interesante horizonte para seguir avanzando.

A este horizonte se dedica el último apartado, recordando la fragilidad que el crecimiento de la información ha tenido a lo largo de la historia a pesar de su empuje y empeño, y advirtiendo las crecientes dosis de incertidumbre que se vierten sobre nuestra presente época revolucionaria. No obstante, se esbozan someramente los dos polos entre los cuales se tienden las principales aproximaciones al futuro de la SI: por un lado, tendríamos la visión pesimista que ha puesto el foco en el estancamiento secular empíricamente detectado por muchos y que se relaciona de algún modo con la dificultad para seguir encontrando información útil para la innovación, como si hubiésemos empezado a alcanzar nuestro techo tecnocientífico (o al menos un nuevo techo, a la espera de una nueva revolución por llegar). Y, por otro lado, tendríamos la visión más optimista y con frecuencia tecnófila que encontraría en las promesas de la SI el germen para el surgimiento de una nueva ola de innovación inminente. Esta nueva ola, capitaneada probablemente por la IA como principal vector del crecimiento en nuestra capacidad para procesar la exuberante información, sería categorizada según las fuentes y discursos como una cuarta Revolución Industrial (4IR) o como una sexta ola de Kondrátiev, pero a estas alturas es difícil no reconocer en ella a un nuevo eco de las TIC, a una nueva forma mejorada de procesamiento y transformación de la información en esta nueva etapa de la historia del crecimiento de la información que la nueva revolución de la SI ha traído.

5. Una propuesta de cuantificación de la SI: índices ISLD e IGR

En este capítulo, se desarrolla una propuesta de cuantificación de la SI, estableciendo primero el marco conceptual y metodológico que nos va a permitir construir una aproximación multivariante al complejo fenómeno de la SI. Se revisan someramente algunas de las principales aproximaciones que se han elaborado en la literatura académica para cuantificar el nivel de desarrollo de la SI, con una singular atención a la difusión y adopción de las TIC, y se observan algunas de las dificultades más severas que este tipo de indicadores han tenido que enfrentar, señalando los rasgos más notables que cualquier propuesta para medir la SI debe tener en cuenta como gozar de la suficiente solidez estadística y cubrir de forma amplia y adaptativa un entorno móvil, heterogéneo y complejo como el de la SI. A partir de ahí se describe la elaboración propia enmarcada en esta tesis de un índice compuesto, construido a través de un proceso regido por las mejores prácticas

Este capítulo describe cómo es posible construir un índice compuesto que mida el nivel de desarrollo de la SI, llamado *Information Society Level of Development* (ISLD) con arreglo a una serie de etapas de construcción. En la primera se han seleccionado variables pertinentes, disponibles y significativas, logrando aglutinar indicadores capaces de cubrir áreas muy diferentes como la difusión, accesibilidad y asequibilidad de las TIC; la adopción real a través del uso social; el peso económico de las TIC en el balance comercial y el ineludible factor del capital humano. Esta selección se ha realizado contrastando con los principales indicadores centrales tanto de muy distintos índices compuestos como del marco de referencia PMICTD.

Código	Descripción del indicador (en inglés)
A1	Fixed telephone lines per 100 inhabitants
A2	Mobile cellular telephone subscriptions per 100 inhabitants
A3	Fixed Internet subscribers per 100 inhabitants
A4	Fixed broadband Internet subscribers per 100 inhabitants
A6	International Internet bandwidth per inhabitant (bits/second/inhabitant)
A7	Percentage of the population covered by a mobile cellular telephone network
A8	Fixed broadband Internet access tariffs per month in United States dollars as a percentage of monthly per capita income
A9	Mobile cellular telephone prepaid tariffs per month in United States dollars as a percentage of monthly per capita income
HH7	Proportion of individuals who used the Internet in the past 12 months
ICT3	ICT goods imports as a percentage of total imports
ICT4	ICT goods exports as a percentage of total exports
OT1	Gross enrolment ratio secondary education
OT2	Gross enrolment ratio tertiary education

Tabla 1 Indicadores individuales escogidos

En etapas sucesivas, se ha ido construyendo ISLD a través de una metodología probada que asegura la transparencia y la equidad del proceso (tratamiento de los datos inexistentes, elección del modelo de ponderación y agregación, etc.). Para la imputación de datos se ha

contado con técnicas contrastadas como las cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC), que a través de un robusto proceso iterativo logran resultados solventes. En cuanto a las técnicas de reducción de dimensiones, el análisis de componentes principales (PCA) ha permitido sintetizar un análisis multivariante y facilitar un esquema de ponderación y agregación en la síntesis del índice que evita los problemas de ponderación subjetiva, incluso en el caso de recurrir a “expertos”, típica de muchos otros indicadores. El diseño de ISLD ha permitido definir un esquema flexible y dinámico que puede evolucionar a lo largo del tiempo con una gran capacidad inclusiva para absorber nuevos indicadores respaldados por la comunidad internacional, como los promovidos por el PMICTD o como los que se corresponden con la continua introducción de nuevas tecnologías, particularmente en un entorno revolucionario de las TIC como el presente.

Para probar la robustez y la sensibilidad del nuevo ISLD, se realizan algunas comparaciones y análisis. Por ejemplo, comparando las clasificaciones de países del índice propuestas con clasificaciones de países de índices, como se hace en este capítulo. También, evaluando la correlación de Pearson entre ISLD y algunos de los índices de desarrollo económico y humano, así como índices específicamente relacionados con la SI, mostrando altos valores en todos los casos:

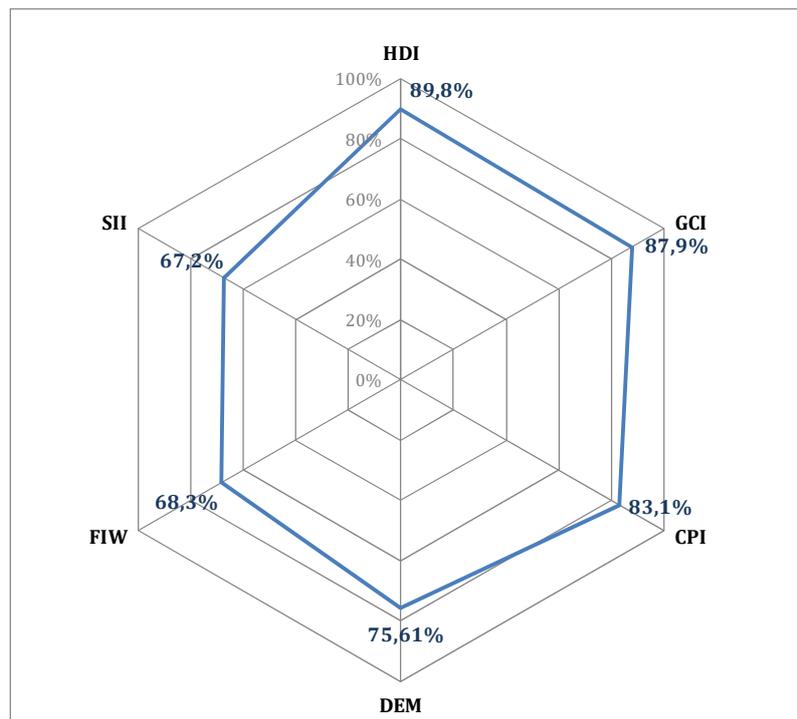


Fig. 1 Correlación entre ISLD con algunos índices de desarrollo económico y humano

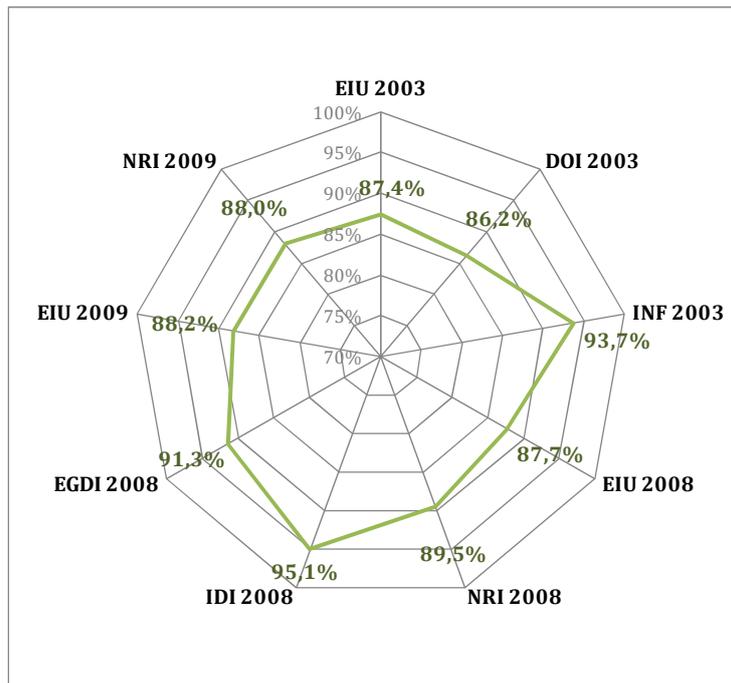


Fig. 2 Correlación de ISLD con otros índices compuestos sobre la SI

Sin embargo, para extraer todo el potencial que ISLD puede proporcionar en el análisis del desarrollo económico y humano, es preciso realizar una transformación adicional que nos permita derivar un índice directamente vinculado a ISLD: IGR (*ISLD to GDP Ratio*).

Esta última y potente transformación ha logrado encumbrar el proceso de construcción de ISLD para facilitar con IGR un mecanismo capaz de mitigar los problemas cruzados de causa-efecto o de correlación-causalidad entre el desarrollo económico y el desarrollo de la SI, que impedirían obtener resultados claros y significativos entre ISLD y el crecimiento económico. IGR de este modo logra representar una *ratio* enormemente útil entre ISLD y la renta per cápita con paridad de poder adquisitivo, transformada a través de una operación logarítmica para linealizarla. IGR representa así en cierto modo la *densidad* de SI por unidad monetaria de renta per cápita de un país, lo que permite aumentar la precisión del análisis. Esto permite evaluar si aquellos países con una proporción mayor de ISLD de la que cabría esperar para su nivel de riqueza prosperan y se comportan mejor ante las adversidades económicas y el desarrollo humano.

6. Evaluación empírica de la contribución de la SI al desarrollo económico y humano

La evaluación empírica de la contribución al desarrollo económico y humano de un concepto tan etéreo como el paradigma de la SI resulta siempre peliaguda. A pesar de ello, a través de la propuesta cuantitativa desarrollada en el capítulo anterior para alumbrar los índices ISLD e IGR, en este capítulo se observa cómo pueden establecerse relaciones plausibles y verosímiles con considerable fuerza explicativa entre ambas esferas.

En primer lugar, se observa en un contexto de crisis, el denominado Escenario 2009, qué fue del paradigma de la SI que, después de recuperarse de la crisis de la burbuja de las *punto com*, parecía de nuevo alzar el vuelo hasta que se topó con la Gran Recesión de 2008, con quien algunos han querido emparentarla, por su capacidad para agitar y viralizar el pánico en los mercados bursátiles, e incluso quienes, como se cita, han querido ver en este hito el fin de la ola de innovación y crecimiento presidida por las TIC y habríamos acabado de atravesar para incorporarnos a una nueva ola disruptiva.

En un segundo escenario, el llamado Escenario 2014-2019, se comprueba cómo en este nuevo escenario ISLD/IGR son capaces de explicar el crecimiento económico en un período de mayor estabilidad de forma aún más clara que en el escenario anterior. Pero además, se observan las virtudes de construir una aproximación que aúne líneas de investigación históricamente inconexas que tienen sin embargo un trasfondo puesto de manifiesto a lo largo de toda la presente tesis y que relaciona indisolublemente el crecimiento de la complejidad y el de la información: la Economía de la Complejidad (EC) permite potenciar la capacidad explicativa de una investigación como la presente a través de ISLD/IGR, y esta, a su vez, enriquece y mejora la capacidad explicativa de aquella.

En lo que se refiere al Escenario 2009, se observa cómo la aplicación de ISLD e IGR sobre un período de fuerte convulsión económica nos permite, a pesar de todo, atisbar algunas relaciones positivas entre el despliegue de la SI y el desarrollo económico y humano. En ese sentido, se han evaluado dimensiones para el desarrollo humano en un sentido amplio, cubriendo la resiliencia económica frente a un impacto como el de la Gran Recesión en función de su nivel de desarrollo relativo de la SI; pero también la desigualdad en la riqueza, a través del coeficiente de GINI, o el impacto medioambiental con las emisiones de CO₂.

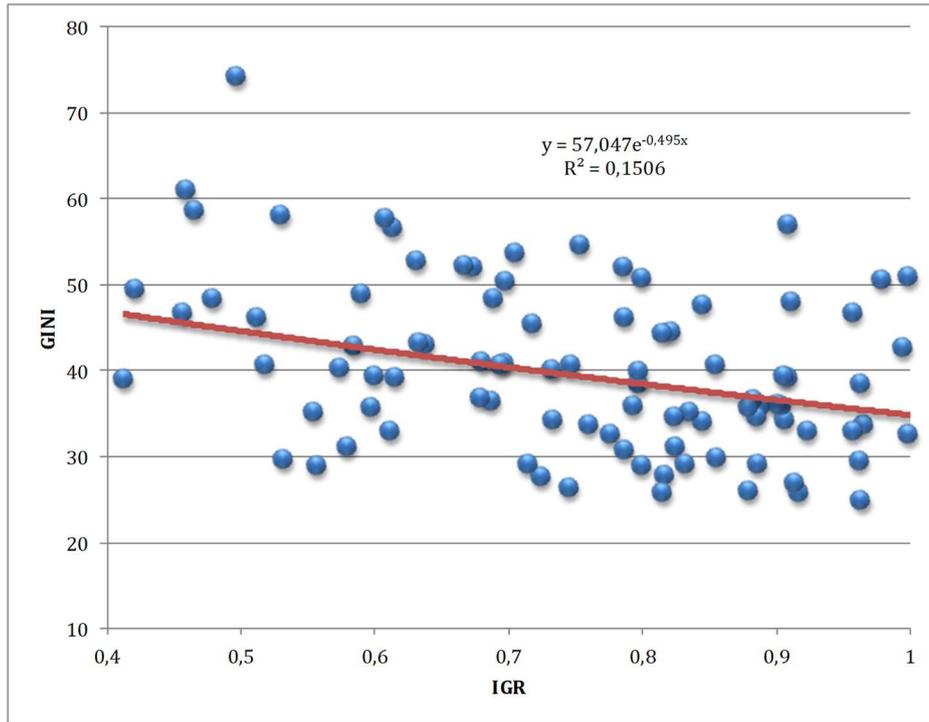


Fig. 3 Regresión entre coeficiente Gini e IGR

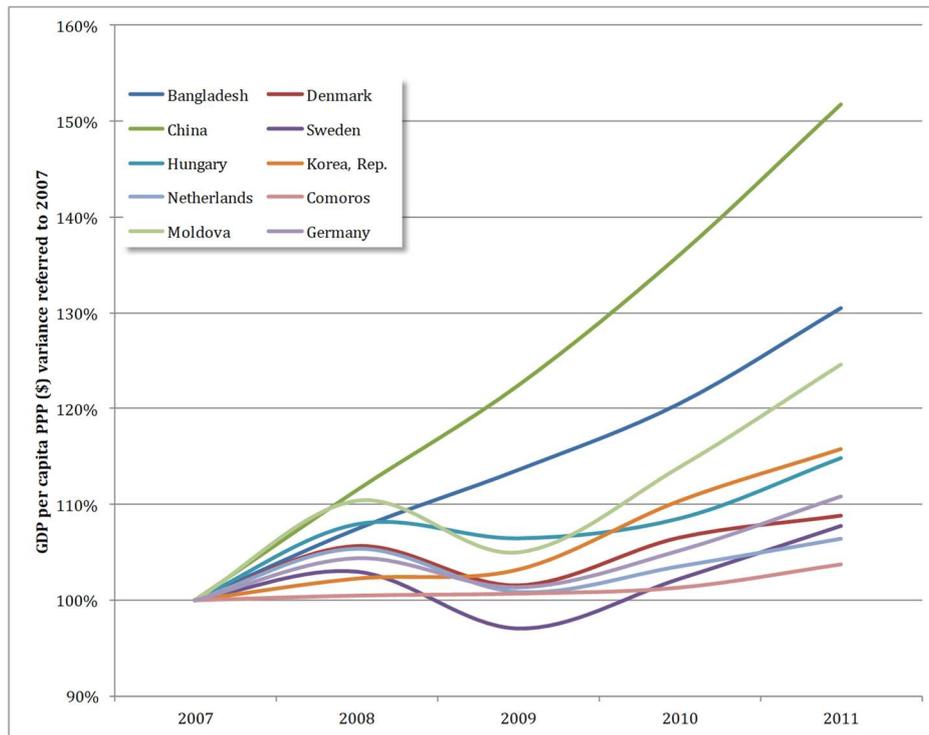


Fig. 4 Variación de PIB per cápita para los 10 países de mayor IGR

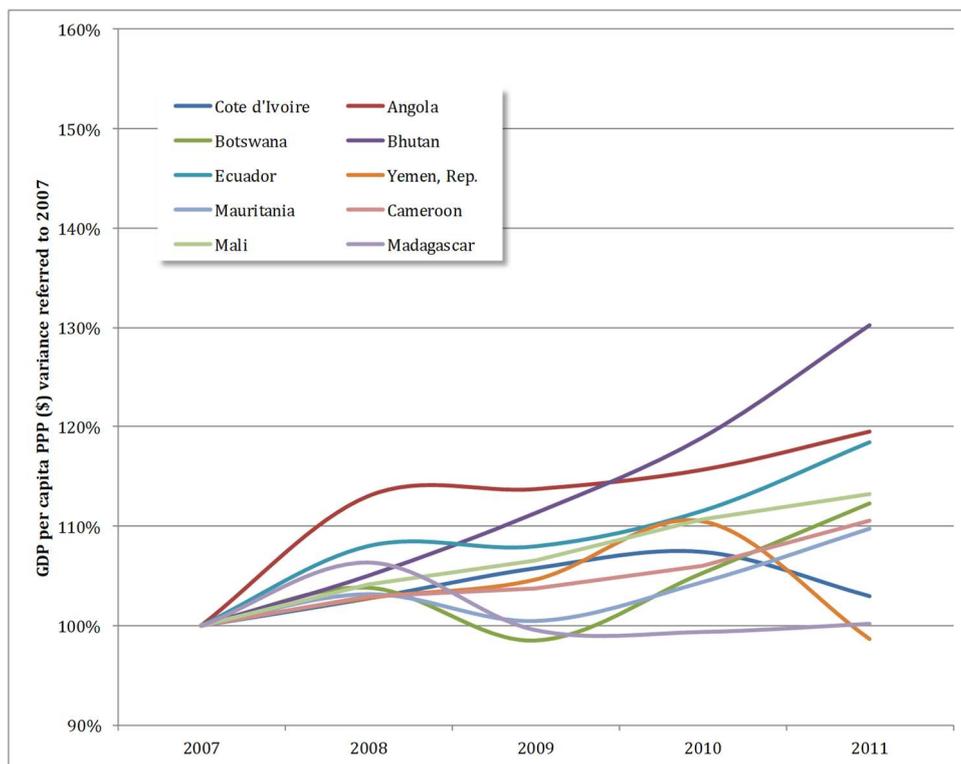


Fig. 5 Variación del PIB per cápita para los 10 países con menor IGR

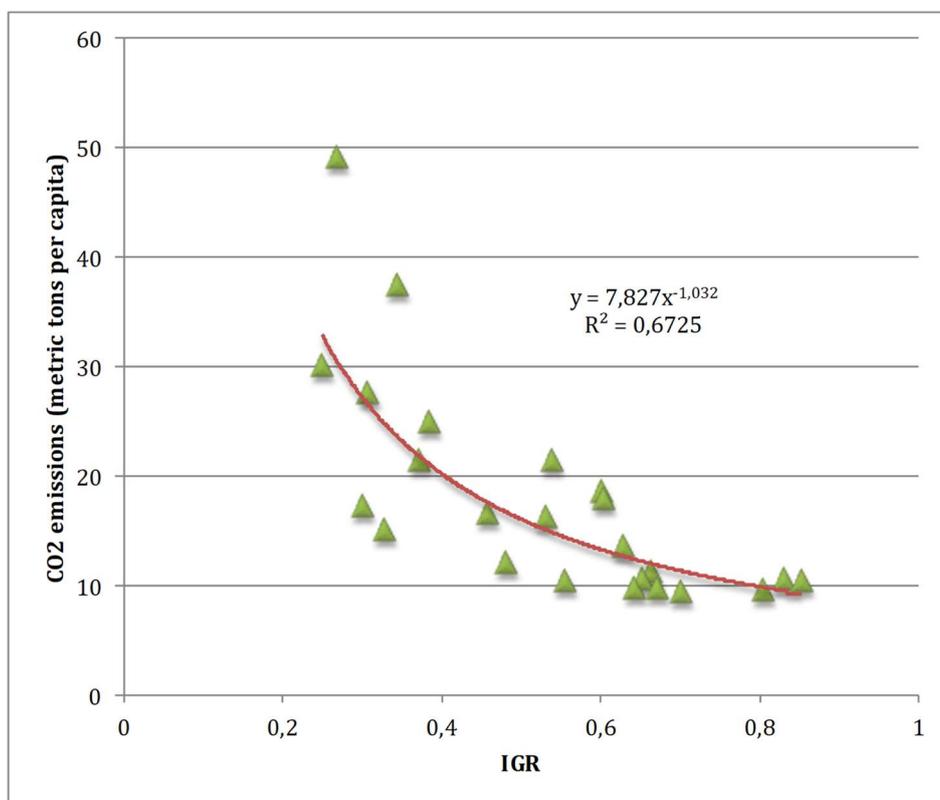


Fig. 6 Regresión entre emisiones de CO₂ per cápita e IGR (Top25 países en emisiones de CO₂ per cápita)

Ciertamente, este entorno turbulento entorpece la consolidación de relaciones fuertes y estrechas. Como ha podido verse, las correlaciones mostradas ofrecen valores de R^2 relativamente bajos, y las relaciones analizadas difícilmente superan los test de significatividad habituales, con nubes de dispersión de datos grandes que impiden llegar a conclusiones excesivamente contundentes.

No obstante, como se concluía en el artículo en el que se publicaron estos resultados¹, éstos parecen corroborar la idea de que la SI ha llegado para quedarse, incluso en los períodos más turbulentos, ofreciendo tímidas pero relevantes muestras de resiliencia, y de capacidad tanto para contribuir al desarrollo económico como para mitigar la desigualdad y el impacto medioambiental, redundando en la mejora del bienestar humano. Sin embargo, la SI aún está lejos de haber extraído todo su potencial, especialmente en ciertas regiones del planeta donde aún está lejos de ser el paradigma líder. Ha podido observarse cómo la SI se ve todavía seriamente afectada por convulsiones económicas de este calado, rompiendo de nuevo cualquier falsa expectativa sobre un crecimiento sostenido irrefrenable, y su advenimiento parece apuntar a una corriente de fondo mucho más apreciable en el largo plazo y la estabilidad, como se observa en el Escenario 2014-2019.

En este escenario, se aúnan líneas de investigación históricamente inconexas que tienen sin embargo un trasfondo puesto de manifiesto a lo largo de toda la presente tesis y que relaciona indisolublemente el crecimiento de la complejidad y el de la información: la Economía de la Complejidad (EC) o Complejidad económica (CE) es caracterizada de forma justificada por uno de los índices más recientes conocido como el *Improved Economic Complexity Index* (ECI+). A partir de ahí, se observa en este capítulo cómo puede potenciarse la capacidad explicativa de ECI+ así como la de ISLD/IGR, enriqueciendo y mejorando mutuamente su capacidad explicativa.

Para ello, se han desarrollado diferentes modelos basados en regresiones lineales. En todos ellos se ha considerado como variable independiente el crecimiento económico, y se calculó como la tasa de variación porcentual del PIB per cápita PPA (GDPpcPPP) entre distintos años, concretamente en una ventana de cinco años:

$$\Delta GDPpcPPP_{t-5}^t = \frac{GDPpcPPP_t - GDPpcPPP_{t-5}}{GDPpcPPP_{t-5}}$$

Se han empleado como es frecuente variables rezagadas (*lagged variables*) con objeto de anticipar el crecimiento económico. En el momento de este análisis, la última serie completa

¹ (Jurado-González & Gómez-Barroso, 2016)

disponible para el PIB cubría el año 2019, por lo que los valores del resto de las variables se remontan a 2014. Por ese motivo los valores de IGR y ECI+ se calcularon para el año 2014.

Como variables dependientes, se han introducido en múltiples modelos distintas variables sociales e indicadores económicos. Finalmente se han escogido los tres mejores, donde los dos primeros evalúan el impacto de ECI+ y de IGR en el crecimiento económico por separado, y el tercer modelo incluye a ambos índices para evaluar su impacto conjunto:

$$(1) \Delta GDPpcPPP_{t-5}^t = \beta_0 + \beta_1 GDPpcPPP_{t-5} + \beta_2 Upop_{t-5}^4 + \beta_3 PM_{t-5} + \beta_4 FdI_{t-5} + \beta_5 Exp_{t-5} + \beta_6 Gcf_{t-5} + \beta_7 ECI_{t-5}^+ + \varepsilon$$

$$(2) \Delta GDPpcPPP_{t-5}^t = \beta_0 + \beta_1 GDPpcPPP_{t-5} + \beta_2 Upop_{t-5}^4 + \beta_3 PM_{t-5} + \beta_4 FdI_{t-5} + \beta_5 Exp_{t-5} + \beta_6 Gcf_{t-5} + \beta_7 IGR_{t-5} + \varepsilon$$

$$(3) \Delta GDPpcPPP_{t-5}^t = \beta_0 + \beta_1 GDPpcPPP_{t-5} + \beta_2 Upop_{t-5}^4 + \beta_3 PM_{t-5} + \beta_4 FdI_{t-5} + \beta_5 Exp_{t-5} + \beta_6 Gcf_{t-5} + \beta_7 ECI_{t-5}^+ + \beta_8 IGR_{t-5} + \varepsilon$$

Como se muestra en las ecuaciones (1), (2) y (3), las variables introducidas en los modelos son las siguientes:

- *Upop* (*Urban population*) es el porcentaje de la población que vive en áreas urbanas. Se eleva a la cuarta potencia después de verificar que es así como muestra el mejor comportamiento predictivo. Tanto *Upop* como *GDPpcPPP* sirven como variables complementarias para predecir negativamente el efecto del nivel de desarrollo anterior, ya que los países más desarrollados (con mayor ingreso per cápita y, en general, mayor nivel de concentración urbana) suelen experimentar un crecimiento más moderado.
- *PMt* (*Population Metcalfe*) es el valor estimado de la red emergida de las interacciones entre los individuos de cada país. Para estimar este valor se utilizó el enfoque clásico de Metcalfe² que se ha citado a lo largo de la tesis, basado en la estructura de los nodos de intercambio de información, y que ha sido probado empíricamente tanto en redes sociales como en criptomonedas³, asimilando en este caso individuos a nodos, y por lo tanto, utilizando población como valor de entrada ($\sim n^2$). La población también se ha utilizado de otras maneras en la literatura como predictor del crecimiento económico⁴. Por lo tanto, esta variable se alinea con ECI+ e IGR para evaluar la complejidad emergente de las interacciones humanas y su contribución al desarrollo económico.
- Las variables *FdI* (*Foreign direct investment*), *Exp* (*Exports*) y *Gcf* (*Gross Capital Formation*) se miden todas como un porcentaje del PIB, y son variables que se han

² (Metcalfe, 2013)

³ (Gonçalves, 2011), (Madureira, 2013), (Zhang, Liu, & Xu, 2015), (Peterson T. , 2018)

⁴ (Becker, Glaeser, & Murphy, 1999), (Peterson E. W., 2017)

utilizado ampliamente en la literatura para predecir el crecimiento económico⁵. En un mundo globalizado e hiperconectado, también pueden estar estrechamente relacionados con la CE y la SI.

Los resultados de los modelos (1), (2) y (3) están resumidos en las tablas siguientes:

	(1)	(2)	(3)
GDPpcPPP	-0.115	-0.162	-0.207
Upop	-0.435***	-0.496***	-0.480***
PMt	0.160**	0.167**	0.138*
FdI	0.068	0.067	0.070
Exp	0.158*	0.086	0.097
Gcf	0.053	0.119	0.091
ECI+	0.417***		0.271***
IGR		0.506***	0.267***
N	125	125	125
\bar{R}^2 ajustada	0.330	0.331	0.363
F	9.721	9.780	9.842
Durbin-Watson	2.112	2.222	2.187

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabla 2 Resumen de resultados de los distintos modelos basados en regresiones lineales múltiples

El primer modelo (ecuación 1) evalúa el impacto de ECI+ en el crecimiento económico. El modelo muestra que las variables complementarias GDPpcPPP y *Upop* presentan un coeficiente negativo como se esperaba, siendo este último significativamente más relevante a la hora de predecir el crecimiento económico y mostrando un nivel de significatividad aceptable ($<0,01$), mientras que el primero no alcanza los niveles estándar de significatividad. Además, *PMt* presenta un coeficiente positivo, como era de esperar, y es estadísticamente significativo ($<0,05$). Este también es el caso de *Exp*, aunque su relevancia es ligeramente menor. Por el contrario, *FdI* y *GcF* no muestran suficiente significatividad en este modelo. Finalmente, ECI+ presenta un coeficiente positivo y es más relevante que el resto de predictores positivos que se han incluido en el modelo (*PMt*, *FdI*, *Exp*, *GcF*). Su coeficiente prácticamente triplica el peso del más cercano (*PMt*). Su nivel de significatividad es alto ($\leq 0,01$). Este modelo cumple los criterios habituales de adecuación: independencia de errores, homocedasticidad, no colinealidad y normalidad.

El segundo modelo (ecuación 2) evalúa el impacto de IGR en el crecimiento económico. Los coeficientes para todas las variables son como los valores obtenidos en el modelo (1), pero

⁵ (Balassa, Exports and economic growth: further evidence, 1978), (Feder, 1983), (Li & Liu, 2005), (Kanu & Ozurumba, 2014)

ocupando IGR el lugar de ECI+ como variable más relevante. *Pmt* mejora ligeramente su relevancia y significatividad. *Exp*, sin embargo, cae al nivel del resto de variables comparativas restantes (*FdI*, *Gcf*), empeorando su coeficiente de peso y perdiendo significatividad. Al igual que en el caso anterior, los resultados confirman que este modelo cumple con los criterios de adecuación habituales: independencia de errores, homocedasticidad y no colinealidad, tal como se muestra en las pruebas correspondientes.

Finalmente, el tercer modelo (ecuación 3) combina los efectos que ECI+ e IGR producen en el crecimiento económico. Este modelo también cumple con los criterios habituales de adecuación señalados anteriormente: independencia de errores, homocedasticidad, no colinealidad y normalidad. Los resultados muestran que las variables complementarias y de comparación del modelo mantienen un perfil similar al que presentaban en los modelos anteriores. *Upop^t* y, en menor medida, *Pmt* siguen superando el umbral de significatividad. Sobre todo, el resultado más relevante de este modelo es el comportamiento compartido de ECI+ e IGR que asumen y reparten el peso de la relevancia explicativa para predecir el crecimiento económico, manteniendo ambos un nivel de significatividad por debajo de 0,01.

Cabe destacar que los diferentes modelos econométricos utilizados para relacionar ECI+ e IGR con el crecimiento económico se han desplegado sobre un amplio conjunto de países (125) descartando muy pocos valores atípicos, a diferencia de otros estudios similares. En este sentido, este enfoque ha sido capaz de obtener una potencia estadística superior al 99,999%.

En lo que concierne al meollo de los resultados, la importancia de *Upop^t*, y un poco menos de *Pmt*, es más que notable. Como era de esperar, *Upop^t* presenta coeficientes negativos a la hora de predecir el crecimiento económico, ya que los países más desarrollados (que exhiben una mayor concentración urbana porque lideran la transición desde el mundo rural que comenzó con la Revolución Industrial) experimentan un crecimiento más moderado en términos porcentuales. En cambio, los coeficientes *Pmt* son positivos: la complejidad que surge de la interacción entre individuos en los países más poblados gracias al potencial para el desarrollo de más interconexiones facilita el crecimiento económico a medio y largo plazo. La capacidad para crear organizaciones sociales y económicas que innoven aumentan con la población, especialmente dentro de ciertos márgenes y condiciones. De esta forma, *Pmt* modela la complejidad derivada del número de individuos que interactúan como nodos de una red, emulando el valor que acumulan de las redes de n nodos basadas en TIC, que Metcalfe y otros autores han tratado de estimar, como ya vimos ($\sim n^2$).

Los resultados son diferentes en el caso de *FdI*, *Exp* y *Gcf*, que son variables típicamente utilizadas en otros modelos de predicción del crecimiento económico. A priori, en términos de

la CE y la SI, es intuitivo relacionar los flujos de inversión extranjera, las exportaciones o la acumulación de capital con el establecimiento de vínculos de cooperación a gran escala que aumentan la complejidad global, gracias a intercambios intensivos de información. Sin embargo, en los modelos presentados en este artículo, estas variables muestran coeficientes pobres para predecir el crecimiento económico y no son estadísticamente significativas, a pesar de su contribución positiva a la adecuación de los modelos.

Finalmente, el análisis de los resultados de ECI+ e IGR responde al objetivo principal de la investigación en este escenario, que pretendía conocer su significado individual y su potencial mejora cuando se combinan. En este sentido, se ve que el comportamiento de ambos índices valida las hipótesis planteadas: ECI+ supone un factor diferencial y positivo en la predicción del crecimiento económico en el primer modelo (ecuación 1). El nivel de CE medido a través de este índice permite predecir un parte muy relevante del crecimiento económico, solo superado por el pronosticado por la variable complementaria $Upop^4$; la acumulación de capacidades para producir productos más complejos, y por tanto más valiosos, es el prelude de mayores tasas de crecimiento.

En el caso del segundo modelo (ecuación 2), IGR ha llevado el peso en la capacidad predictiva del modelo, incluso por encima de $Upop^4$: un desarrollo de la SI por encima de lo que cabría esperar para el nivel de renta per cápita de un país es un buen predictor de su crecimiento económico futuro (el mejor en el caso de este modelo).

Finalmente, el tercer modelo (ecuación 3), que no presenta problemas de colinealidad, muestra cómo ECI+ e IGR pueden complementarse para mejorar la adecuación de los dos modelos anteriores. Esta mejora se cuantifica en más de un 10% para el \bar{R}^2 ajustado, y se materializa también en el factor F). Sugerimos una explicación simple de este hecho: la CE, analizada en términos de ECI+, descansa en la idea de que los productos más complejos que requieren un mayor nivel de habilidades, conocimientos y tecnología están ubicados geográficamente; para favorecer en estos lugares el despliegue de mayores niveles de complejidad y una potenciación de las interacciones entre los diferentes factores productivos, actualmente es necesario impulsar las TIC o, más en general, la SI, aquí modelados por IGR. Por tanto, IGR potencia y amplifica la capacidad explicativa de ECI+.

El crecimiento económico en estos términos es, no solo cuestionable y matizable por diversos motivos, sino que constituye un fenómeno enormemente dependiente de multitud de factores, especialmente cuando el espectro de países y regiones se amplía, lo que lo hace difícilmente predecible. En esa línea, para poder profundizar aún más en el análisis del Escenario 2014-2019, se ha realizado trabajo adicional para discriminar el distinto comportamiento que

presentan los distintos países caracterizando mediante una estrategia alternativa el peso que tienen sus situaciones de partida. En este sentido, se ha realizado una segmentación de la muestra que, por un lado, descarte los valores atípicos de forma justificada y por otro permita agrupar los países en conglomerados o *cluster* en función de su GDPpcPPP.

Como es ampliamente reconocido en la literatura económica, el análisis arroja resultados mucho más interesantes si se distingue entre aquellos países que se encuentran en vías de desarrollo, son emergentes o desarrollados⁶. En este sentido, se aplicad una técnica de agrupamiento (*clustering*) en función del GDPpcPPP que nos ha permitido segmentar la totalidad de los países en tres grandes bloques en función de su nivel, que podríamos identificar como: bajos, medios y altos (*low -LOW, medium-MED, high-HIGH*).

Por otro lado, es preciso tener en cuenta que las variaciones de GDPpcPPP a lo largo del tiempo son muchísimo más sensibles a las situaciones particulares de los países, por lo que es preciso efectuar una identificación pormenorizada de los valores atípicos especificando convenientemente los criterios empleados que permitan evitar cualquier sombra de duda sobre un posible efecto de *cherry-picking* o supresión interesada de evidencias.

De estos países, los países descartados se han ajustado a los siguientes criterios:

- Aquellos países con un nivel de GDP excesivamente bajo, al ser países mucho más volátiles en su variación del crecimiento económico⁷. En este sentido, se han desestimado los países que se encontrasen por debajo de una desviación típica en el análisis de z-scores.
- Aquellos países cuya estructura productiva es excesivamente pobre, ya que como se ha comprobado en diversos trabajos de investigación es necesario disponer de una estructura mínima que permita observar los efectos de la CE y el papel que la SI medidos a través de estos indicadores. En este sentido, se han desestimado también los países que tuviesen un valor de ECI+ e IGR por debajo de una desviación típica en el análisis de z-scores.
- Por último, se han seleccionado algunos países como valores atípicos en función de la variación que han experimentado sobre su GDPpcPPP dentro de su *cluster*. Como es bien reconocido en la literatura, las variaciones más ostensibles de crecimiento económico se producen en países en vías de desarrollo, donde las tasas porcentuales altas son más factibles, mientras que los países más desarrollados experimentan tasas de crecimiento más reducidas. Así es posible descartar algunos países afectados por

⁶ (Niebel, 2018)

⁷ (Easterly & Kraay, 2000)

factores ajenos al objeto de este estudio dentro de lo que cabría esperar para el grupo al que pertenecen, como por ejemplo aquellos países con un crecimiento excesivo en su GDPpcPPP que enmascara una transformación en el período que, debido a una política fiscal, les ha convertido en paraísos fiscales, o países con un decrecimiento excesivo debido a situaciones de conflicto (p. ej. guerras).

A partir de esta segmentación, puede observarse que la relación entre ECI+ e IGR con respecto a la variación de PIB per cápita PPA (GDPpcPPP) incluyendo las regresiones lineales simples por cluster ofrecen resultados positivos significativos:

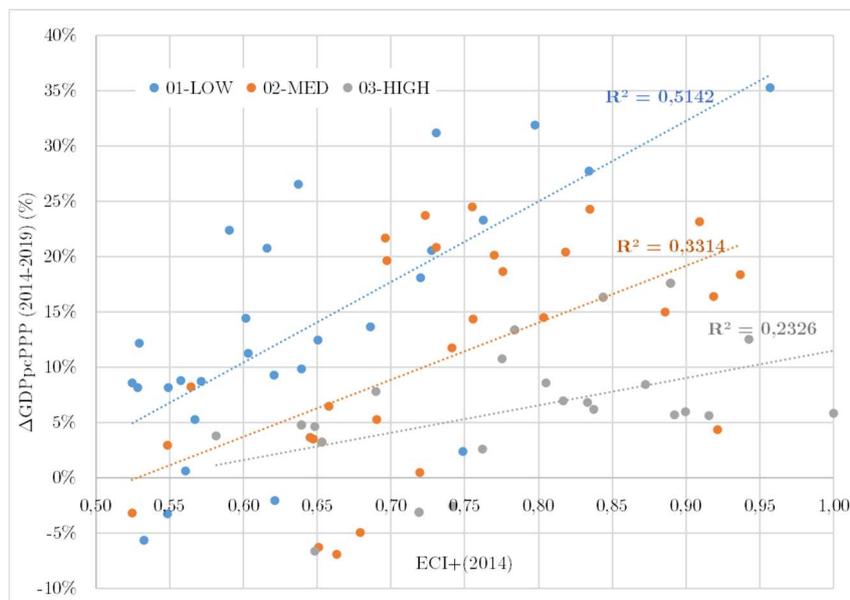


Fig. 7 ECI+ vs Δ GDPpcPPP 2014-2019: regresiones lineales por clusters

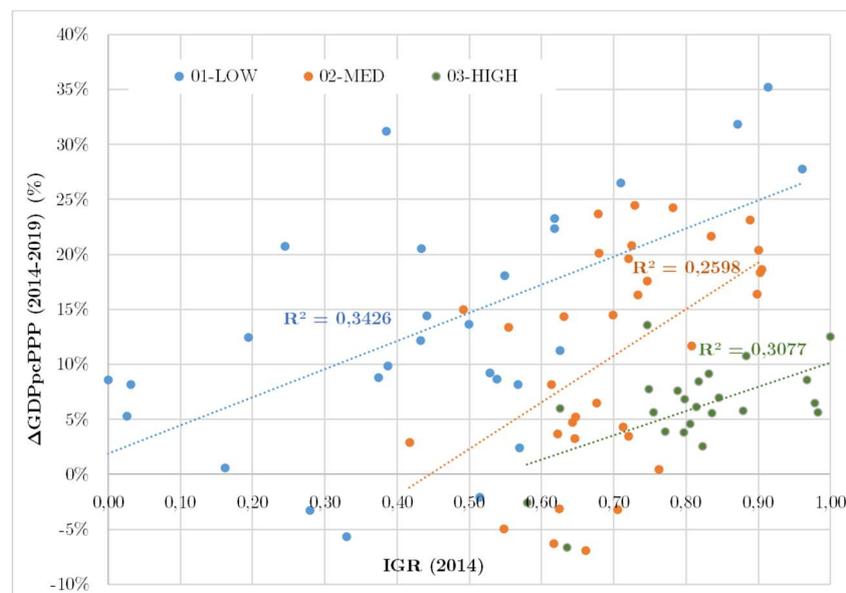


Fig. 8 IGR vs Δ GDPpcPPP 2014-2019: regresiones lineales por clusters

A partir de esta segmentación, además, es posible trazar regresiones lineales múltiples restringidas solo a los índices ECI+ e IGR para cada uno de los cluster, obteniéndose los resultados expuestos en la tabla a continuación:

	LOW	MED	HIGH
ECI+	0,596***	0,417**	0,204
IGR	0,176	0,294*	0,485**
N	28	34	23
\bar{R}^2	0,53	0,385	0,349
F	14,08	9,702	5,359
Durbin-Watson	1,86	2,165	2,775
Tolerancia	0,531	0,74	0,866
VIF	1,882	1,35	1,154

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabla 3 Resumen de resultados en regresiones lineales múltiples ECI+/IGR según clusters

Como puede observarse, los coeficientes de determinación R^2 mejoran ostensiblemente con el proceso de segmentación en clusters, tanto para el caso de ECI+ como para el caso de IGR. Aunque los tamaños muestrales de cada uno de los cluster son reducidos e impiden sacar conclusiones demasiado firmes, con este análisis puede sostenerse que tanto ECI+ como IGR contribuyen cada uno a explicar una parte significativa del crecimiento económico experimentado por los distintos países en cada uno de sus segmentos, porque los valores absolutos que se obtienen son razonablemente altos para un fenómeno tan volátil como el crecimiento económico.

Por otro lado, estos resultados también muestran que en el cluster de países con menor renta per cápita (LOW), ECI+ se comporta con un predictor mejor que IGR, tanto en valores de coeficiente de determinación en la regresión simple como en el peso de su contribución en la regresión lineal múltiple y su nivel de significatividad estadística (por debajo del 0,01). Sin embargo, conforme el análisis de los modelos de regresión lineal múltiple de ECI+ e IGR va desplazándose a lo largo de los distintos grupos en ascendente renta per cápita (MED, HIGH), ECI+ va perdiendo peso en su contribución explicativa y sin embargo lo va ganando IGR, que a su vez, va ganando asimismo en significatividad estadística.

Todo esto nos permite intuir que la medida de CE que lidera ECI+ permite cubrir con mejor solvencia la contribución al crecimiento económico en países menos desarrollados y que están despegando: en ellos, probablemente, el desarrollo de la SI todavía no es tan relevante frente a la transformación de la tradicional economía agraria en una economía más industrializada. Los países responderían en cierto modo a un patrón en el que aumentan primero la complejidad de

sus productos incorporando capital humano sin recurrir necesariamente a un despliegue más explícito de las TIC y de los sectores más intensivos en información.

Al observar además la transición que se produce desde el cluster de países menos desarrollados a los más desarrollados, el coeficiente de determinación, aunque notable en todos los casos, va menguando. La complejidad de las economías más desarrolladas estaría impidiendo que tanto ECI+ como IGR fuesen capaces de mantener la altísima capacidad explicativa que logran conjuntamente en los países con menor renta per cápita ($R^2 > 0,5$). Esto les sitúa como indicadores especialmente relevantes para caracterizar por tanto fenómenos analizados en los estudios de desarrollo. Y además abre el posible debate que veremos en las conclusiones acerca de los problemas que tienen las métricas de la CE basadas en índices como ECI+ para caracterizar economías cada vez más intangibles, relacionadas con el sector terciario de los servicios, particularmente los servicios TIC y en general el valor inmaterial de la información y del conocimiento que no queda debidamente representado en las estadísticas de las exportaciones globales de productos. Por ese motivo IGR estaría reemplazando a ECI+ en su capacidad explicativa, ganando a su vez significatividad estadística, conforme subimos hacia niveles de renta per cápita mayores.

En este escenario, por tanto, se comprueba la flexibilidad de ISLD/IGR para adaptarse en su construcción a nuevos tiempos y circunstancias con una primera actualización. A partir de ahí, se observa cómo era posible y de sumo interés conjugar la línea de investigación seguida por los diversos índices compuestos relativos a la SI con la línea de investigación de la CE, que reúne a su vez a diversos índices como ECI+.

La base de esta complementariedad radica en que, si bien la CE brota de la adquisición, estructuración y desarrollo del conocimiento, los mecanismos que facilitan su intercambio, proliferación y consolidación a través de las TIC pueden acelerarlo. En definitiva, el desarrollo tecnológico puntero de nuestras últimas décadas relacionado con la promoción y protagonismo de la información permite acortar *distancias* (*tele-comunicaciones*), agilizar los enlaces, reforzar su fiabilidad e impulsar la cooperación entre potenciales áreas productivas (personas, empresas, países, productores-consumidores), creando así nuevos espacios en los que las propiedades emergentes pueden proporcionar niveles más altos de complejidad. Hasta donde sabemos, este enfoque no se ha seguido previamente en la literatura, aunque hay algunos trabajos muy recientes que exploran caminos cercanos⁸.

Los resultados han demostrado que tanto ECI+ como IGR son, por sí mismos, herramientas fiables para predecir el desarrollo económico. De hecho, los modelos desarrollados proporcionan

⁸ (Lapatinas A. , 2019), (Moreno-Hurtado, Plascencia, Lozano, & Cano, 2020)

un poder explicativo muy satisfactorio en comparación con el obtenido por otros índices comúnmente utilizados en la literatura, al tiempo que incluyen un número muy elevado de países. Además, ECI+ e IGR han mostrado un rendimiento aún mejor cuando ambos se combinan en el mismo modelo. Esto confirma lo esperado: los paradigmas de la CE y de la SI convergen en esta particular implementación, contribuyendo a la idea de complementariedad entre información y complejidad como tendencias de crecimiento global desde que apareció la vida en nuestro planeta. Desde un punto de vista más práctico, los hallazgos de este trabajo pueden ayudar a localizar los factores que pueden mejorar y acelerar aún más el crecimiento económico.

7. Conclusiones generales

La *Sociedad de la Información* (SI) es un fenómeno complejo que goza de una historia mucho más profunda y arraigada de lo que pudiera parecer a tenor de los trabajos y obras elaborados sobre ella en las últimas décadas. En ese sentido, como se ha podido comprobar, la hipótesis de partida de la presente tesis ha sido validada en dos grandes momentos, el primero de los cuales se ha centrado en la presunta inevitabilidad histórica de la SI (capítulos 2, 3 y parte del 4); y el segundo de ellos, a la luz de esa revisión histórica, ha tratado de conectar la contribución del paradigma de la SI con el desarrollo económico y humano más reciente, de acuerdo a la tendencia histórica antes corroborada (capítulos 4, 5 y 6).

Para hacerlo, ha sido conveniente esclarecer la noción misma de información, dentro de sus múltiples acepciones, lo que nos ha permitido constatar que siguen existiendo debates contemporáneos en torno al concepto. También, y a pesar de todo, confirmar que es posible recabar unos rasgos principales de la información que resultan fecundos en la detección y caracterización de esta tendencia (naturaleza diafórica, neutralidad taxonómica, neutralidad ontológica, neutralidad genética). Esto nos ha permitido articular la relación de la información con nociones hermanas como las de entropía y complejidad, y constatar su enorme presencia en multitud de disciplinas y campos de conocimiento no debido a un paradigma conceptual pasajero, sino por su omnipresencia creciente en las realidades naturales y humanas que estas disciplinas abordan.

A partir de ahí, se logra construir una historia de la vida en la Tierra, y particularmente de la historia cultural de la especie humana, periodificada y jalonada por episodios centrados en un procesamiento y acumulación de información cada vez mayores. Matizando la noción de *inevitabilidad histórica*, se plantean las limitaciones que este análisis tiene, señalando la contingencia y la debilidad de la tendencia considerada, pero justificando razonadamente el interés por detectarla y comprenderla.

Con ello, se ha logrado recabar indicios suficientes para corroborar que esta historia así narrada que acaba desembocando en la SI confirma la hipótesis de partida. Esto ha sido validado inicialmente en el plano estrictamente biológico del tiempo geológico: abiogénesis basada en ADN como estructura de información, crecimiento en la biodiversidad, acumulación en la encefalización, aumento del coeficiente de encefalización, proceso de hominización... y con ello la tesis se ha adentrado y ha validado la hipótesis en el plano cultural del tiempo histórico: las revoluciones culturales de la información nos han ofrecido el esquema explicativo para recorrer muy distintos períodos y civilizaciones humanas económicamente desarrolladas sobre estructuras cada vez más complejas y basadas en información.

La revolución del lenguaje, como primera revolución de la información, nos hizo aflorar propiamente como especie y articuló la cooperación cultural basada en la transmisión e intercambio social de información como rasgo adaptativo clave, haciéndonos triunfar como la especie lingüística que inventó el dinero y produjo la Revolución Neolítica. La revolución de la escritura, como segunda revolución de la información, nos ha permitido asomarnos y corroborar la hipótesis desde el propio origen de la escritura asociado al intercambio económico en la antigüedad, y nos ha permitido atravesar diversas civilizaciones que se articularon y catapultaron a lomos de sus estructuras de información extrasomática (como los artefactos simbólicos, el dinero, las inscripciones, los papiros, los códices, los rollos de pergamino, los libros,...) en culturas como la egipcia, la mesopotámica, la fenicia, la griega, la romana, la china, la musulmana y la de los pueblos europeos desde la Alta a la Baja Edad Media.

La revolución de la imprenta como tercera revolución de la información nos ha asomado a una etapa distinta en la que nuevamente la hipótesis ha sido corroborada: en primer lugar, observando el primer impacto económico que la imprenta tuvo en el fecundo mercado europeo, ofreciendo un impulso al desarrollo empresarial, legal y urbano con evidentes consecuencias económicas. En segundo lugar, comprobando su impacto en el inicio de la *Era de los descubrimientos* que posibilitó la consolidación de los imperios coloniales europeos. En tercer lugar, observando que, aunque catalizó un estallido religioso desestabilizador que puso fin a un milenio de legitimidad religiosa y política, ayudó a fraguar la emblemática fragmentación de Europa que generó un ecosistema de competencia entre naciones enormemente innovador para favorecer el crecimiento económico. En cuarto lugar, la transformación ideológico-institucional operada por la imprenta nos ha ofrecido muestras y explicaciones del avance económico y político de distintas potencias e imperios que se han ido sucediendo desde entonces, con los casos emblemáticos de los Países Bajos, Inglaterra y Estados Unidos hasta nuestros días. La relación entre la imprenta y los movimientos culturales como los de la Ilustración o las revoluciones burguesas nos ha permitido confirmar la contribución de aquella al crecimiento de la participación política y, con ella, de la progresiva democratización y ampliación de las economías. De hecho, en quinto y último lugar, se ha cerrado esta revolución de la información con el episodio central de la explosión científico-tecnológica a la que dio lugar, y que hermanó definitivamente el crecimiento de la información y el conocimiento con su encarnación en estructuras cada vez más complejas aplicadas a nuestros procesos productivos que confluyeron en el segundo hito de la historiografía económica más relevante: la Revolución Industrial. Su impacto indiscutible en la economía ha sido así analizado en términos de crecimiento de información y complejidad. La inercia de este crecimiento y la expansión de las innovaciones

tecnocientíficas acabaron desembocando en la cuarta revolución de la información, protagonizada por las TIC, lo que ha dado lugar al advenimiento de la SI.

Con todo este recorrido, la tesis es capaz por tanto de establecer un hilo conductor que proporciona un cierto fundamento biocultural a la teoría económica del crecimiento endógeno: es esta acumulación de información y complejidad la que ha logrado que en sucesivos hitos a lo largo de la historia humana hayamos logrado mejoras sustanciales en nuestra productividad económica y, en definitiva, en nuestra capacidad de adaptación. Para alcanzar esta conclusión, la tesis ha logrado recopilar y ordenar en un sentido lógico y cronológico centenares de fuentes, estudios y evidencias que corroboran la hipótesis de partida. Hasta el punto de que incluso ha planteado la posibilidad de reconsiderar las periodizaciones que tradicionalmente se han manejado en la historiografía económica: el recorrido somero por multitud de épocas y civilizaciones ha sido capaz de explicar en buena medida su evolución a través de ejes fundamentales relacionados con el crecimiento de la información y la complejidad: la información extrasomática (lenguaje, escritura, alfabeto, papiro, códice, papel, imprenta, libro impreso, panfleto, periódico...); el desarrollo tecnológico (acumulación de complejidad en artefactos como materialización de información útil); y la organización y participación sociopolítica (cooperación basada en el intercambio intensivo de información). Las tres primeras revoluciones de la información proporcionan este marco referencial, y permiten caracterizar las distintas formas de desarrollo económico en la historia humana que, atravesando múltiples períodos, han acabado confluyendo en la cuarta revolución de la información, la de las TIC, y la llegada de la SI.

A partir de ahí la tesis se ha adentrado en la segunda parte de la hipótesis de partida, la comprobación de que el paradigma de la SI contemporáneo conecta con esta corriente histórica gracias a su contribución al desarrollo económico y humano en un período más reciente. Para ello, se ha desarrollado un análisis pormenorizado del concepto de SI, acudiendo a múltiples trabajos de investigación del último medio siglo, y se han abordado las contradicciones y desafíos que este paradigma ha afrontado de tipo ideológico, medioambiental, político y económico (brecha digital, fuga de cerebros, desestabilización de mercados, sobrecarga de información, incertidumbre...). A pesar de ello, se corrobora en la literatura la confirmación del papel de la SI, en particular articulada por la expansión masiva de las TIC, en el crecimiento económico y el desarrollo humano de finales del siglo XX y principios del XXI.

Sumándonos a esta confirmación, la tesis ha contribuido con una aportación original desarrollando una propuesta de cuantificación de la SI, basada en dos indicadores compuestos elaborados a partir de un análisis multivariante, capaces de mitigar en buena medida las dificultades también descritas para medir el impacto de la SI y de las TIC en la economía.

Estos índices han logrado mejorar la solidez estadística de otros índices publicados por organismos y autores académicos a través de una metodología rigurosa y objetiva: selección de variables pertinentes, disponibles y significativas; imputación de los datos inexistentes mediante técnicas probadas como las cadenas de Markov Monte Carlo; aplicación de técnicas de reducción de dimensiones como el análisis de componentes principales (PCA); y la síntesis de un primer índice con un esquema de ponderación y agregación que evita los problemas de ponderación subjetiva, incluso en el caso de recurrir a “expertos”, típica de muchos otros indicadores. Esta propuesta ha permitido definir un esquema flexible y dinámico que puede evolucionar a lo largo del tiempo con una gran capacidad inclusiva para absorber nuevos cambios propios de un período revolucionario y complejo como el presente. Y además ha sido rematada con la derivación de un segundo índice que aumenta la precisión para medir el desarrollo de la SI para un nivel de renta per cápita dado, lo que ha hecho ganar verosimilitud a las relaciones causa-efecto con el crecimiento económico y el desarrollo humano evaluadas a continuación.

De forma que esta propuesta nos ha permitido concluir la tesis corroborando empíricamente la contribución de la SI así cuantificada al crecimiento económico y al desarrollo humano, tanto en un escenario especialmente turbulento en torno a la Gran Recesión de 2008 como en un escenario de mayor estabilidad en un período más reciente (2014-2019). En ellos se ha evaluado esta contribución en términos de resiliencia económica, reducción de la desigualdad, mitigación del impacto medioambiental y, por supuesto, crecimiento económico. Además, se ha expandido la investigación con una aportación inédita hasta la fecha según nos consta que ha conjugado la línea de investigación a la que pertenecen los índices desarrollados en esta tesis, con otra línea de investigación relacionada con la *complejidad económica* (CE). La base de esta posible complementariedad se comprende a la luz de la primera parte de esta tesis: la acumulación de complejidad en la elaboración de productos que aportan valor y permiten el crecimiento económico procede de la adquisición, estructuración y desarrollo del conocimiento, de forma que los mecanismos que facilitan su intercambio, proliferación y consolidación a través de las TIC pueden acelerarla. Desde este punto de vista, los hallazgos de este trabajo pueden ayudar a localizar los factores que pueden mejorar y acelerar aún más el crecimiento económico y explicar las tendencias observadas en el crecimiento de los países, particularmente los emergentes.

Existen indudablemente algunas limitaciones en este trabajo. En su primera parte, es evidente que una aproximación como la planteada a propósito de la historia del crecimiento de la información a lo largo de una historia extendida hasta el origen de la vida en la Tierra es un fenómeno tan sumamente complejo que analizarlo bajo una explicación global solo es factible

si esta explicación es suficientemente generalista y amplia. Por eso, la metodología empleada no ha podido ir más allá de una recopilación de hechos, teorías y trabajos de investigación que corroboran esta tendencia al crecimiento de la información y la complejidad, corriendo siempre el riesgo de acabar disolviéndose o de resultar excesivamente vaga y carente de capacidad explicativa. Cualquier intento de sostener una inevitabilidad histórica de este tipo debe ser argumentado de forma fundada como aquí ha tratado de realizarse, aunque prudente y tentativa dentro de estas limitaciones.

Por otro lado, la propuesta cuantitativa para la medición de la SI y la validación empírica de su contribución al desarrollo económico y humano cuenta con otro tipo de limitaciones. Fundamentalmente, las métricas presentan ciertas carencias o riesgos en sus definiciones y diseños, siempre enfrentando un difícil equilibrio entre dos extremos: simplificar al máximo el proceso para evitar los problemas de falta de datos y expandir al máximo el modelo para dar cabida a la compleja realidad que tratan de cuantificar. La dependencia de diversas variables hace crítica tanto la selección como la síntesis y agregación de todas ellas.

Finalmente, se han planteado entre las conclusiones algunas posibles líneas de investigación que podrían profundizar y ampliar este trabajo. En lo referente a la hipótesis general sobre la inevitabilidad histórica, el campo de investigación es enormemente grande y se abre a toda suerte de estudios multidisciplinarios: un trabajo como el presente abre muy diversas posibilidades para reforzar la verosimilitud de la hipótesis incorporando nuevas evidencias que aúnen conceptos y medidas relacionados en esta tesis como los de información, complejidad, entropía, conocimiento, urbanización, capital humano, desarrollo tecnológico, innovación, etc. Las épocas históricas, a su vez, susceptibles de ser objeto de este tipo de nuevas investigaciones son inmensas, desde las eras geológicas que estudia fundamentalmente la paleobiología, hasta las épocas históricas más variopintas de la historia social, política y, por supuesto, económica. En general, esta tesis pretende abonar con un granito el campo de las aproximaciones multidisciplinarias.

Por otro lado, en lo referente a la validación empírica de la contribución de la SI al crecimiento económico y humano también podrían desarrollarse nuevos trabajos de investigación enfocados a la mejora de las métricas propuestas, o a la ampliación de los escenarios explorados en la presente tesis tanto en ventanas temporales como en la relación con otros indicadores económicos y de desarrollo humano. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que cualquier esfuerzo de investigación adicional requeriría la reconstrucción de índices como los propuestos para esos nuevos escenarios, lo que volvería a enfrentarnos a los problemas antes mencionados de definición de los índices o incluso de disponibilidad de datos. A ese respecto se sugieren otras posibles estrategias alternativas. Porque, entre otros, es claramente tentador para una

investigación futura considerar el escenario desafortunado, pero al mismo tiempo de enorme interés, que ha creado la crisis de la COVID-19: las métricas de la SI y la CE podrían actualizarse para verificar su influencia en la mitigación y recuperación del impacto económico después de semejante embestida. Pues así es como la vida, desde su origen y por el momento, se sigue abriendo paso.

8. Bibliografía

- Balassa, B. (1978). Exports and economic growth: further evidence. *Journal of development Economics*, 5(2), 181-189.
- Becker, G. S., Glaeser, E. L., & Murphy, K. M. (1999). Population and economic growth. *American Economic Review*, 89(2), 145-149.
- Easterly, W., & Kraay, A. (2000). Small states, small problems? Income, growth, and volatility in small states. *World development*, 28(11), 2013-2027.
- Feder, G. (1983). On exports and economic growth. *Journal of development economics*, 12(1-2), 59-73.
- Ghosh, S. (2016). How important is mobile telephony for economic growth? Evidence from MENA countries. *Info*, 18(3), 58-79.
- Gonçalves, B. P. (2011). Modeling users' activity on twitter networks: Validation of dunbar's number. *PLoS one*, 6(8), e22656.
- Grassberger, P. (2012). Randomness, information and complexity. *arXiv:1208.3459*.
- Jurado-González, J., & Gómez-Barroso, J. (2016). What Became of the Information Society and Development? Assessing the Information Society's Relevance in the Context of an Economic Crisis. *Information Technology for Development*, 22(3), 436-463.
- Kanu, S. I., & Ozurumba, B. A. (2014). Capital formation and economic growth in Nigeria. *Global Journal of human-social science: Economics*, 14(4), 43-58.
- Lapatinas, A. (2019). The effect of the Internet on economic sophistication: An empirical analysis. *Economics Letters*, 174, 35-38.
- Li, X., & Liu, X. (2005). Foreign direct investment and economic growth: an increasingly endogenous relationship. *World development*, 33(3), 393-407.
- Madureira, A. d. (2013). Empirical validation of Metcalfe's law: How Internet usage patterns have changed over time. *Information Economics and Policy*, 25(4), 246-256.
- Metcalfe, B. (2013). Metcalfe's law after 40 years of Ethernet. *IEEE Computer*, 46(12), 26-31.
- Moreno-Hurtado, C., Plascencia, A., Lozano, A., & Cano, J. (2020). ICT exports: the role of human capital and economic complexity. *15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI). IEEE*, 1-15.
- Niebel, T. (2018). ICT and economic growth – Comparing developing, emerging and developed countries. *World Development*, 104, 197-211.
- Peterson, E. W. (2017). The role of population in economic growth. *Sage Open*, 7(4), 2158244017736094.
- Peterson, T. (2018). Metcalfe's Law as a Model for Bitcoin's Value. *Alternative Investment Analyst Review Q*, 7(2), 9-18. doi:<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3078248>
- Qureshi, S., & Najjar, L. (2017). Information and communications technology use and income growth: Evidence of the multiplier effect in very small island states. *Information Technology for Development*, 23(2), 212-234.
- Zhang, X., Liu, J., & Xu, Z. (2015). Tencent and Facebook data validate Metcalfe's law. *Journal of computer science and technology*, 30(2), 246-251.