

Vida científica

NOVEDADES CIENTÍFICAS EN 2009

EN CIENCIAS AMBIENTALES

ESPECIALIZACIÓN ALOPÁTRICA EN LOS PINZONES DE DARWIN

Charles Darwin ya describió en su diario de viaje a bordo del *Beagle* la variedad de especies que existían en el archipiélago de las Galápagos. El caso de los pájaros pinzones, con los picos adaptados a distintas formas de alimentación, se convirtió en la clave para la formulación de la teoría de la selección natural y, en el mejor ejemplo para ilustrar como actúa. Coincidiendo con el bicentenario del nacimiento de Darwin y los 150 años de la publicación de *On the Origin of Species*, la obra que marcó un hito en la biología, Peter y Rosemarie Grant, de la Universidad de Princeton (New Jersey, EE.UU.), han publicado un artículo sobre la aparición de una nueva especie de pinzones en las Galápagos.

La especiación es un proceso por el cual se forman dos especies a partir de una, debido a que se produce un aislamiento reproductivo de dos linajes divergentes. En 1981, estos investigadores detectaron en la isla *Daphne Major*, la presencia de un ejemplar de pinzón terrestre (*Geospiza fortis*) más grande de lo habitual, al que denominaron 5110, y que provenía de una isla vecina. Realizaron un seguimiento de todos los descendientes del

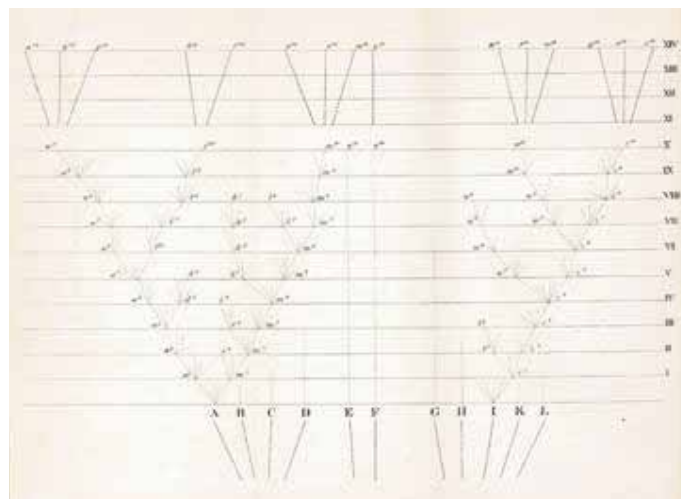
ejemplar, que se cruzaba con los pinzones residentes en la isla. Durante la cuarta generación y, como consecuencia de una sequía intensa, observaron que la población de descendientes se redujo a dos: un macho y una hembra. Desde entonces, ellos y sus descendientes, los cuales tienen picos, cantos y genes distintos a los del resto de aves de la isla, sólo se han cruzado entre sí. En el artículo se sugiere que la especiación sucedió en dos fases: inicialmente existió divergencia entre poblaciones con aislamiento geográfico (alopátrica) y luego la divergencia se completó en un solo lugar debido a diferencias en el canto, que resulta ser un mecanismo de aislamiento reproductivo fundamental por su papel en la formación de parejas. Ese aislamiento reproductivo es la condición propia para que se inicie un proceso de especiación, o aparición de una nueva especie, ya que si se volviese a producir el cruzamiento con otros miembros de especies cercanas, no daría lugar a individuos fértiles (*Proc. Natl. Acad. Sci.*, 106(48), 20141-20148, 2009).

SÍNTESIS DE PÉPTIDOS SIN DISOLVENTE

En las últimas décadas la química de péptidos ha alcanzado gran auge, por las propiedades farmacológicas y la baja toxicidad de estos compuestos. La síntesis de péptidos se lleva a cabo fundamentalmente mediante dos procedimientos: síntesis en disolución en múltiples etapas y síntesis en fase sólida. El principal problema es



Figura 1. a) Individuo del linaje inmigrante de *G. Fortis* (A) en la Isla de *Daphne Major* y miembro de la población residente de *G. Fortis* (B). b) Reproducción de la figura incluida en su obra *On the Origin of Species* de Charles Darwin.



que se requiere utilizar grandes cantidades de disolventes (2.000-5.000 kg para un péptido largo), siendo necesario desarrollar nuevos métodos más eficientes y «benignos» con el medio ambiente. La Química Sostenible o Química Verde consiste en la utilización de una serie de principios encaminados a reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas en el diseño, fabricación y aplicación de los productos químicos. El quinto principio establece que se debe evitar emplear sustancias auxiliares, como disolventes, reactivos, etc. y en el caso de que se utilicen deben ser inocuos.

El grupo de investigación del Instituto de Biomoléculas Max Mousseron (Montpellier) dirigido por F. Lamaty ha desarrollado el primer método sin disolventes para realizar enlaces peptídicos. Este procedimiento consiste en utilizar un molino de bolas, similar a los que se emplean en el procesado de los compuestos químicos de las pinturas y productos pirotécnicos. El molino de bolas consta de un cilindro hueco, que contiene múltiples bolas de acero. Cuando el recipiente está cargado con los reactivos, se pone a girar para que se mezclen y reaccionen. Estos investigadores lo han utilizado para acoplar derivados N-carboxianhídridos de α -aminoácidos N-uretanos protegidos con ésteres, amidas y α -aminoácidos para obtener diferentes dipéptidos, incluido el aspartamo (edulcorante artificial) e incluso tripéptidos. La reacción se lleva a cabo en estado sólido y no se necesitan disolventes para realizar la síntesis ni en la purificación de los productos finales, además los rendimientos obtenidos son altos. Según los autores, este procedimiento con molinos de bolas abre una nueva posibilidad para síntesis más ecológicas de otros compuestos (*Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 48, 9318-9321, 2009).

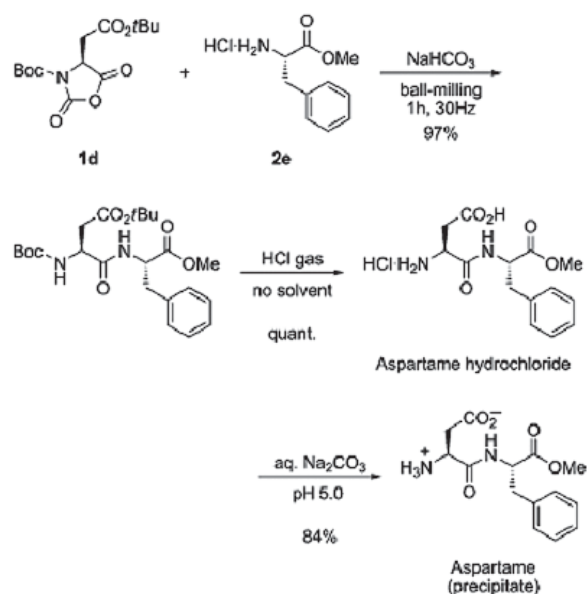


Figura 2. Síntesis sin disolventes del péptido aspartamo (edulcorante artificial).

FIJACIÓN Y SECUESTRO DE CO₂ MEDIANTE FORMACIÓN DE H₂CO₃

La reducción de los gases de efecto invernadero que producen el cambio climático, implica desarrollar nuevos métodos sencillos y baratos que permitan capturar y «secuestrar» el dióxido de carbono (CO₂). En las técnicas actuales, se captura el CO₂ de los gases de combustión de las centrales mediante reacciones con otros compuestos, o bien, se licua y posteriormente se bombea hacia zonas profundas de la tierra o al fondo del océano. Sin embargo, estos procedimientos requieren considerables cantidades de productos químicos y de energía. Además, cuando se utilizan compuestos básicos débiles se producen

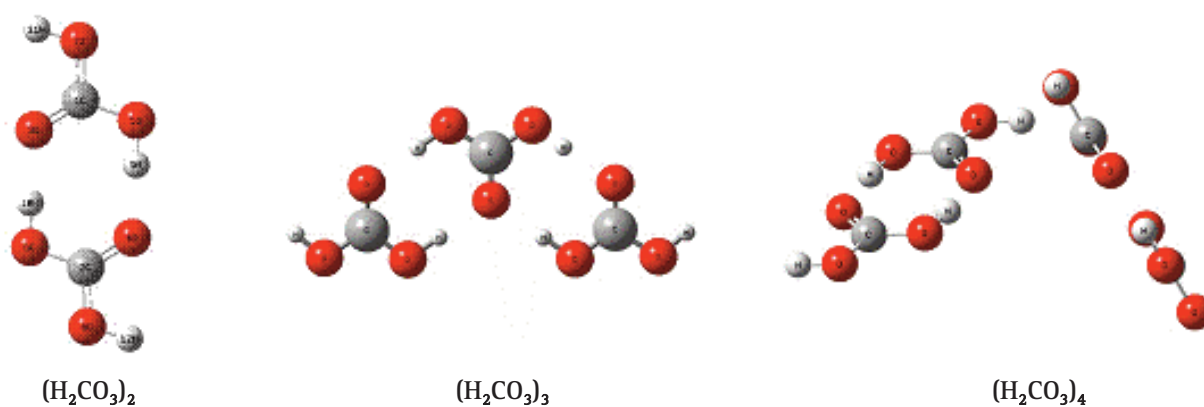


Figura 3. Modelos de los diferentes oligómeros del ácido carbónico (H₂CO₃). Cálculos realizados mediante Gaussian03.

reacciones incompletas debido a la acidez débil del CO_2 (g). Y si se utilizan bases fuertes, como el hidróxido de sodio (NaOH), se obtienen productos más estables pero se necesitan reactivos en cantidades elevadas y se genera un exceso de otros compuestos químicos como el NaHCO_3 , que provocan problemas para su almacenamiento.

J.A. Tossel de la Universidad de Maryland (EE.UU.) ha realizado cálculos teóricos, que le han permitido obtener datos sobre las estructuras, estabildades, ... de distintos oligómeros de H_2CO_3 , y analizar la capacidad del ácido carbónico (H_2CO_3) para atrapar dióxido de carbono. Los resultados de su trabajo indican que es posible capturar directamente el CO_2 en fase gaseosa, utilizando sólo agua como reactivo y almacenando el producto resultante (H_2CO_3), como un sólido oligomérico a temperaturas moderadamente frías. Aunque el H_2CO_3 es un compuesto muy inestable, sus oligómeros se consideran más estables debido a los enlaces de hidrógeno intermoleculares (*Environ. Sci. Technol.*, 43, 2575-2580, 2009). La viabilidad de este procedimiento a gran escala requiere completar los estudios sobre diferentes aspectos como la curva de presión de vapor, compresibilidad del $(\text{H}_2\text{CO}_3)_n$, ...

LAS RELACIONES DE MUTUALISMO AUMENTAN LA BIODIVERSIDAD

En Ecología existen numerosas relaciones entre las especies de un ecosistema, pero de forma general estas interacciones se pueden clasificar en: a) beneficiosas

para ambas especies, b) relaciones que suponen un perjuicio para los individuos de las especies implicadas y c) interacciones en las que una especie obtiene un beneficio mientras que la otra no se favorece ni perjudica. El mutualismo se caracteriza porque se favorecen ambas especies y un ejemplo sería la dispersión del polen de las plantas mediante insectos, donde estos utilizan el polen como alimento a la vez que ayudan a las plantas con flores a reproducirse. Este tipo de relaciones de mutualismo no han tenido tanta repercusión en la formulación de modelos teóricos como la depredación y la competencia, debido fundamentalmente a que se consideraba la competencia como la principal fuerza de la evolución biológica.

Un grupo multidisciplinar, formado por investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid, de la Estación Biológica de Doñana y de la Universidad Politécnica de Madrid, han publicado un trabajo coordinado por J. Bascompte, donde estudian las redes mutualistas entre plantas e insectos polinizadores o dispersores de semillas. Los autores han demostrado que cuando especies distintas de insectos compiten por los mismos recursos, pero polinizan a la misma especie de planta, en realidad cooperan entre sí. Esta reducción de la competencia efectiva, aumenta la estabilidad estructural del ecosistema, que se hace más resistente a las extinciones y permite que coexistan un mayor número de especies. Según este modelo, la reducción de la competencia se produce cuando la red de las interac-

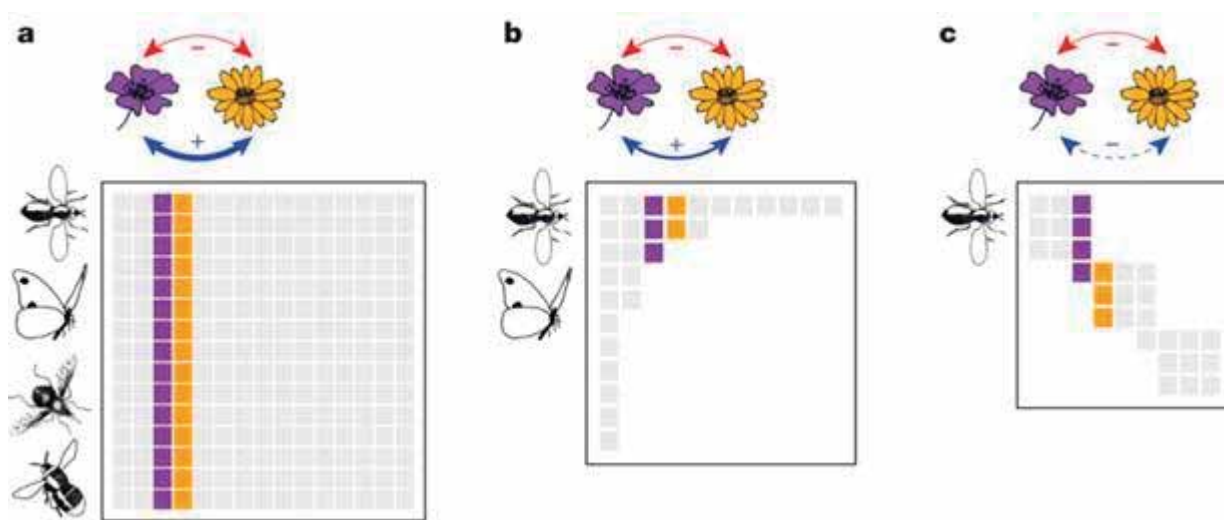


Figura 4. La estructura de las redes mutualistas determina el número de especies que coexisten. a) Totalmente conectadas. b) Anidada. c) Compartimentada. Dos especies de plantas compiten por los mismos nutrientes (flecha roja), pero también tienen interacciones indirectas mediante polinizadores comunes (flecha azul). La flecha azul puede cambiar de signo y de magnitud. Cuando el número de polinizadores compartidos es muy alto, los efectos positivos son mayores que los negativos, y el modelo predice que un gran número de especies pueden coexistir.

ciones mutualistas tiene una arquitectura denominada anidada. A partir de sus resultados, es posible suponer que las interacciones mutualistas anidadas explicarían que los dos grupos de organismos más diversos del planeta sean los insectos y las plantas con flores, siendo importante para mantener la biodiversidad de los ecosistemas la preservación de esta estructura. Este modelo también predice que se puede producir la extinción masiva del resto de especies de un ecosistema, si el beneficio mutuo entre dos especies aumenta demasiado (*Nature*, 458, 1018-1021, 2009).

EL FLUORURO DE SULFURILO PERSISTE EN LA ATMÓSFERA

El fluoruro de sulfurilo (SO_2F_2) es un compuesto que se emplea para la fumigación de estructuras en la construcción. Es eficaz para combatir los parásitos y hongos de la madera y en la desinfección de edificios atacados por coleópteros, termitas, etc. Además se está considerando como una alternativa al bromuro de metilo (CH_3Br), un agente utilizado en la agricultura para el control de plagas, que en 1992 se reconoció como una de las sustancias responsable de la destrucción de la capa de ozono (Enmienda de Copenhague, Protocolo de Montreal). Por lo que, se han dictado varias normativas con el objeto de disminuir progresivamente su aplicación hasta llegar a la total prohibición en 2015.

Sin embargo, los trabajos de M. P. Sulbaek Andersen junto con F.S. Rowland *et al.* han demostrado que aunque la concentración de fluoruro de sulfurilo en la atmósfera es mucho menor que la de dióxido de carbono, CO_2 , su capacidad de atrapar calor es 4000 veces mayor por unidad de masa que el CO_2 , lo que podría contribuir al cambio climático. El SO_2F_2 es un gas con una presión de vapor de 16 atm a 20°C y su tiempo de vida media en la atmósfera se calculaba entre 4,5 y 14 años. Pero, los últimos estudios experimentales y cálculos teóricos han estimado que el tiempo de vida media podría ser mucho mayor, del orden de 30 a 40 años. Por tanto, para evaluar la contribución del SO_2F_2 al forzamiento radiativo, es necesario conocer su destino en la atmósfera lo que ha llevado a este grupo de investigadores a estudiar las reacciones en fase gaseosa de esta sustancia con compuestos oxidantes tales como radicales, OH, átomos de cloro y ozono. Con este trabajo se pretende conocer la relación entre la química en la atmósfera del SO_2F_2 , su tiempo de vida y el efecto en

el calentamiento global, al modificar directa o indirectamente el flujo radiante.

EL ÓXIDO NITROSO (N_2O) PRINCIPAL DESTRUCTOR DE LA CAPA DE OZONO EN EL SIGLO XXI

Aunque parece que la capa de ozono está experimentando una progresiva recuperación, la velocidad a la que ocurre es lenta y se considera que no se alcanzarán los niveles anteriores a los años ochenta hasta el 2050, y que incluso en la Antártida habrá que esperar hasta 2060 o 2075. Esta relativa recuperación se debe a que la producción y las emisiones de los clorofluorocarbonos (CFCs) a la atmósfera fueron reguladas en el Protocolo de Montreal de 1987. Pero en este tratado no se incluye al óxido nitroso (N_2O), compuesto que se emite por actividades antropogénicas como utilización de fertilizantes agrícolas, estiércol del ganado, la combustión y otros procesos industriales, y también fuentes naturales como las bacterias del suelo y los océanos.

Según el estudio de A. R. Ravishankara y sus colaboradores del National Oceanic and Atmospheric Administration de Colorado (EE.UU.), las emisiones de N_2O se han convertido en el mayor factor de destrucción de la

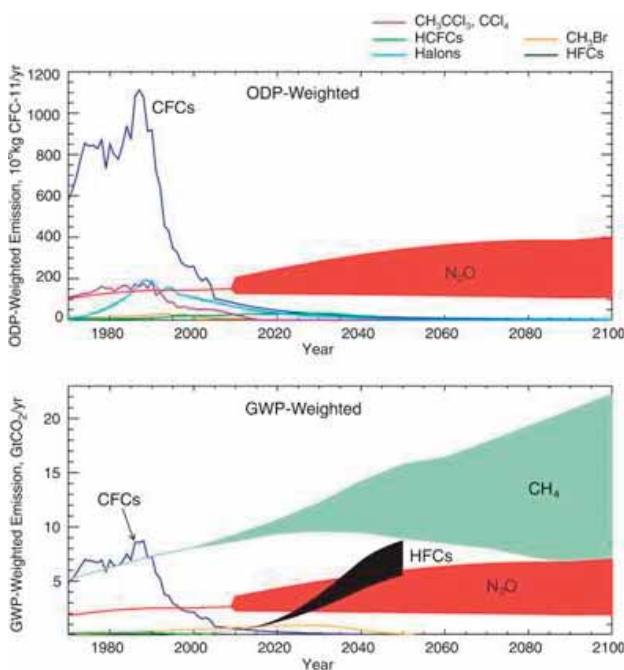


Figura 5. Emisiones históricas y previstas hasta el 2100 de compuestos dañinos para la capa de ozono (ODSs, Ozone Depleting Substances) y gases de efecto invernadero (GWP, Global Warning Potencial).

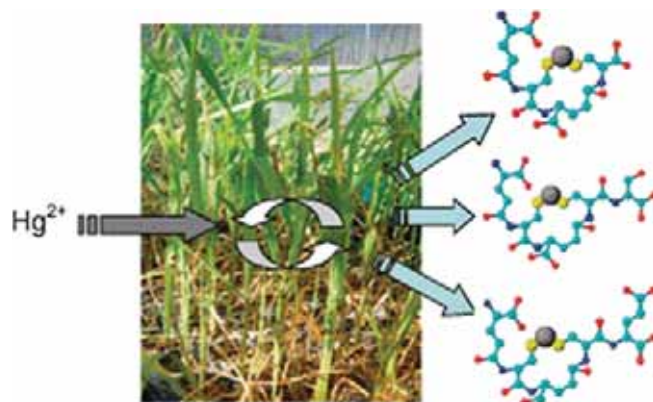


Figura 6. Estructuras moleculares de complejos mercurio-fitoquelatinas en plantas de arroz.

capa de ozono y probablemente seguirán siéndolo durante el siglo XXI. Aunque el papel del óxido nitroso en la destrucción de la capa de ozono se conoce desde hace décadas, es la primera vez que se ha medido su impacto usando los mismos métodos que con los CFCs, demostrando que en 2008 los niveles de emisión de N_2O fueron el doble que las del siguiente gas más importante en la depleción de la capa de ozono, el CFC-11 (*Science*, 326, 123-125, 2009). Los autores concluyen en su artículo que el óxido nitroso es también un gas de efecto invernadero y por tanto, la reducción de las emisiones de este compuesto no sólo sería beneficioso para la recuperación de la capa de ozono si no que también ayudaría a moderar el calentamiento global.

MERCURIO, UN CONTAMINANTE «AMPLIAMENTE EXTENDIDO»

El mercurio es un metal con alta capacidad para formar compuestos orgánicos e inorgánicos y, que se transforma en otras sustancias altamente tóxicas, como el metilmercurio (CH_3Hg), considerado un potente neurotóxico. Desde hace años, existe una gran preocupación por los riegos derivados del mercurio presente en el ambiente y su influencia en la salud humana. Como consecuencia de la contaminación atmosférica global, termina depositándose en el mar y concentrándose en cantidades relativamente altas en la pesca de alta mar. En las cadenas tróficas pasa de unos depredadores a otros llegando hasta el ser humano, fundamentalmente por el consumo

de pescados como el atún y el pez espada, y se va acumulando (bioacumulación) debido a las dificultades para excretarlo.

A pesar de ello, hasta ahora no se había prestado gran interés a la presencia de este metal en plantas, como por ejemplo los cereales. En recientes investigaciones se ha demostrado que la cantidad de metilmercurio en los granos de arroz es más abundante de lo que cabría esperar a partir de las concentraciones detectadas en el suelo de compuestos derivados de mercurio. E.M. Krupp *et al.*, de la Universidad de Aberdeen (Escocia), han determinado las concentraciones en raíces y tallos de las plantas de arroz, combinando técnicas de electro-spray y espectrometría de masas-plasma. En su estudio han identificado complejos de Hg-fitoquelatinas en las raíces y han comprobado que las fitoquelatinas (PGs), péptidos que actúan como ligandos detoxicantes de metales, pueden secuestrar iones Hg^{2+} pero no metilmercurio. En plantas expuestas a Hg^{2+} los niveles más altos se encuentran en las raíces, con una baja traslocación del metal a tallos y granos, al contrario de lo que sucede con el metilmercurio. Estos resultados permiten suponer que los complejos metal-fitoquelatinas no solo sirven para la detoxificación de metal, sino que juegan un papel muy importante en el proceso de transporte del metal en la planta, por lo que es necesario seguir investigando en este área (*Chem. Commun.*, 4257-4259, 2009).

Consuelo Escolástico León
Dpto. de Química Orgánica y Bio-Orgánica