

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA

Editor: Salvador Guirado. Comité editorial: Ramón Muñoz-Chápuli, Antonio de Vicente, José Carlos Dávila, Francisco Cánovas, Francisca Sánchez Jiménez, Luis Javier Palomo, Antonio Flores, Félix L. Figueroa, Juan A. García Galindo. Editado con la colaboración del I.C.E. de la Universidad de Málaga.

NEUROBIOLOGÍA

LOS 'BASUREROS' DEL CEREBRO

El sistema nervioso central de vertebrados se encuentra excepcionalmente bien protegido frente a las agresiones mecánicas, por un lado, gracias a la 'coraza' proporcionada por el cráneo y la columna vertebral que, junto con las meninges y el líquido cefalorraquídeo, actúa como un sistema amortiguador muy eficaz frente a golpes, y por otro lado, frente a sustancias potencialmente nocivas que se encuentren en la sangre gracias a la existencia de una 'barrera' altamente específica entre la sangre y el tejido nervioso, la denominada 'barrera hemato-encefálica', constituida por las uniones herméticas situadas entre las células endoteliales que forman la pared de los capilares sanguíneos en el sistema nervioso, que 'filtra' todo aquello que va a pasar de la sangre al tejido nervioso y viceversa, evitando el paso de sustancias potencialmente peligrosas para las neuronas. El correcto funcionamiento de las neuronas depende de un 'ambiente' extracelular muy controlado y a ello contribuye especialmente la barrera hematoencefálica, así como otro tipo de células presentes en el sistema nervioso, los denominados astrocitos (un tipo de célula glial) que, entre otras funciones, mantiene el medio extracelular de las neuronas en unas condiciones muy estables.

A pesar de todas estas protecciones, el sistema nervioso central no está a salvo de lesiones, algunas de las cuales como por ejemplo el ataque cerebral, es relativamente frecuente en la especie humana. Cuando un vaso sanguíneo cerebral se obstruye, por ejemplo por un coágulo sanguíneo, el territorio cerebral irrigado por dicho vaso queda bruscamente desprovisto de riego sanguíneo y, con ello, de glucosa y oxígeno. Las neuronas son células muy sensibles a la anoxia y la falta de oxígeno durante tan solo muy escasos minutos es suficiente para producir la pérdida irrecuperable de

neuronas en el área afectada, con muerte y degeneración de estas células (recordemos que las neuronas no se dividen ni se regeneran normalmente en el cerebro adulto de los mamíferos).

En el sistema nervioso central normal se encuentran células con capacidad fagocítica, macrófagos en sentido amplio, que expresan rápidamente esta capacidad en caso de lesión, fagocitando desechos celulares. Un tipo de macrófago del sistema nervioso son las denominadas células de la microglia ('células de Hortega'), caracterizadas como tipo celular distinto por el neurohistólogo español P. del Rio Hortega en el año 1932. Hoy día se está de acuerdo en admitir el origen mesodérmico (diferente por tanto del origen de las neuronas y otras células gliales) de las células de la microglia, cuyos precursores invadirían el sistema nervioso a partir de la sangre durante el desarrollo embrionario, estableciéndose como células fijas del sistema nervioso adulto. A estas células fijas se le conocen como microglia 'en reposo' o microglia 'ramificada' por su aspecto característico con prolongaciones citoplasmáticas cortas y ramificadas. Estas células de la microglia representan precursores de macrófagos en el sistema nervioso, funcionando del mismo modo que otras células macrofágicas 'fijas' presentes en órganos como el hígado (células de Kupffer) o la piel (células de Langerhans). Tras una lesión en el sistema nervioso central, hay un cambio rápido y extendido en la microglia ramificada. Estas cé-

lulas cambian de forma haciéndose redondeadas o desarrollando pseudópodos, a la vez que adquieren capacidad fagocítica e incluso de mitosis y además expresan antígenos del complejo principal de histocompatibilidad del tipo I y II (un tipo de moléculas implicadas en el reconocimiento por otras células del sistema inmune. En esta condición se les conoce como microglia 'reactiva'.

La microglia, sin embargo, puede ser tan solo un componente de la heterogénea población de macrófagos cerebrales. Hay una población de macrófagos perivasculares, separados del parénquima cerebral por una lámina basal. Estudios inmunocitoquímicos indican que los macrófagos perivasculares tienen un fenotipo inmunológico distinto del de la microglia ramificada. Estos macrófagos perivasculares derivan de monocitos circulantes que entran y salen del cerebro a lo largo de toda la vida. Los macrófagos perivasculares podrían constituir una población especializada para interactuar con el sistema inmune, actuando como células presentadoras de antígeno. Otros macrófagos procedentes de la sangre también pueden penetrar en el cerebro tras una lesión que origine desechos celulares, contribuyendo a la fagocitosis y a la eliminación de restos celulares.

Así pues, los macrófagos del cerebro derivan de tres poblaciones distintas: la microglia ramificada, presente en el parénquima cerebral desde períodos postnatales tempranos; los macrófagos perivasculares, que han adquirido esta posición antes de la lesión; y los macrófagos que entran en el tejido nervioso a partir de la sangre después de la lesión. Es difícil distinguir estas pobla-

Los 'basureros' del cerebro	1
Supresores: un fenómeno poco conocido en las relaciones hongo-planta	2
Conocer a los chimpancés por los pelos	3
Premios Nobel 1994 en Medicina y Fisiología	3
Biotecnología forestal	4
La macroflora marina de la Antártida carece de Laminariales	5
La fotosíntesis en un ambiente enriquecido en CO₂	5
Tendencias actuales en la investigación sobre ideas de los alumnos	7

ciones en el contexto de la lesión, ya que la microglia puede cambiar de forma y emigrar hacia el lugar donde se encuentren los desechos, en una forma indistinguible de la de las poblaciones derivadas de la sangre.

La microglia activada puede contribuir a la señalización que atrae a los macrófagos sanguíneos. Así, la microglia puede liberar citoquinas, tales como la interleucina-1, la cual a su vez actúa sobre las células endoteliales aumentando su adhesión a los macrófagos y leucocitos circulantes, facilitando así su entrada hacia el parénquima nervioso. La expresión de los antígenos del complejo principal de histocompatibilidad del tipo I y II por la microglia reactiva y por los macrófagos procedentes de la sangre es probablemente un aspecto de las interacciones de estas células con células del sistema inmune. Los macrófagos

del cerebro pueden también liberar sustancias que actúen sobre los astrocitos o sobre las células endoteliales para que cambien sus propiedades en respuesta a la lesión. La función primera de los macrófagos cerebrales es, ciertamente, la de fagocitar los desechos celulares, aunque como ha sido mostrado recientemente [Giulian et al., *J. Neuroscience*, (1993)], también pueden tener la capacidad de lesionar o incluso matar células normales. Así pues, la activación de los macrófagos residentes y el influjo de macrófagos sanguíneos puede tener consecuencias indeseables como la muerte no selectiva de células 'normales' localizadas en el sitio de la lesión.

J.C. Dávila (Profesor Titular de Biología Celular).

FITOPATOLOGÍA

SUPRESORES: UN FENÓMENO POCO CONOCIDO EN LAS RELACIONES HONGO-PLANTA

A lo largo de la evolución, las plantas han ido desarrollando una serie de mecanismos de protección frente a los ataques de organismos fitopatógenos. El hecho de no sintetizar anticuerpos como respuesta a las infecciones no significa que estén indefensas.

En primer lugar, forman barreras físicas que tratan de impedir el desarrollo del patógeno en los tejidos del huésped de un modo puramente mecánico. Estas barreras suelen estar formadas por depósitos de polisacáridos o derivados, como calosa o lignina. Entre ellas destacan las papilas, barreras formadas por algunas gramíneas en respuesta a la infección por hongos.

También disponen las plantas de mecanismos de defensa químicos. Como respuesta a la infección se sintetizan muchos tipos de proteínas, entre las que destacan proteínas con actividad enzimática, como quitinasas y β -1,3-glucanasas, inhibidoras del crecimiento de hongos. Otras proteínas dignas de ser destacadas son las inhibidoras de proteasas (PI: protease inhibitors), las proteínas inhibidoras de poligalacturonasa (PGIPs: polygalacturonase-inhibiting proteins) y las glucoproteínas ricas en hidroxiprolina (HRGPs:

hydroxiprolin-rich glycoproteins), todas ellas relacionadas con la defensa frente a patógenos.

Finalmente, señalaremos las llamadas proteínas PR (PR proteins: pathogenesis-related proteins), caracterizadas en muchos patosistemas, aunque su papel en la defensa de la planta no está claramente dilucidado.

Sin embargo, la barrera química más destacada es la síntesis de fitoalexinas (PAs: phytoalexins). Las fitoalexinas son, por definición, compuestos antimicrobianos de bajo peso molecular, sintetizados por las plantas como respuesta a la infección por un agente patógeno. Han sido ampliamente estudiadas, y en numerosos casos, se conocen la estructura química, mecanismo de acción y vía de síntesis.

Cuando un hongo fitopatógeno intenta establecerse en una planta, dispone de una serie de mecanismos moleculares para vencer todos estos mecanismos de resistencia que hemos visto. Por ejemplo, se suelen sintetizar celulasas para destruir la pared celular, cutinasas para poder penetrar a través de la cutícula, pectinasas que hidrolizan la lámina media e incluso enzimas capaces de degradar a las fitoalexinas sinte-

tizadas por la planta como respuesta a la infección.

Muy conocido es el hecho de producción de toxinas por patógenos vegetales, toxinas que pueden actuar de modos muy diferentes. Estas toxinas son muy comunes en el caso de infecciones bacterianas, pero también son producidas por muchas especies de hongos fitopatógenos.

Sin embargo, mucho menos conocido es el hecho de producción de supresores por hongos fitopatógenos. Los supresores son sustancias que favorecen el establecimiento de los mismos en la planta y su posterior desarrollo. Este tipo de compuestos, a diferencia de las toxinas, no causan daños directos sino que solamente hacen posible el acceso a las células invadidas por el patógeno.

Así, el hongo *Mycosphaerella pinodes*, patógeno del guisante (*Pisum sativum*) produce un supresor que retrasa en aproximadamente tres horas la transcripción de los genes que expresan la síntesis de la enzimas PAL (fenilalanina amonio-liasa) y CHS (chalcona sintetasa) y de tres a seis horas en la acumulación de pisatina (una fitoalexina).

La chalcona sintetasa es una enzima clave en la biosíntesis de flavonoides y la fenilalanina amonio-liasa es clave en la formación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas, todos ellos compuestos que intervienen en la respuesta defensiva de la planta frente a la infección.

Recientemente se ha aislado de *M. pinodes* un glucopéptido llamado factor 5 (F5) que actúa como supresor. Al parecer, este supresor puede condicionar a la planta para aceptar la infección por el hongo. Así, plantas de guisantes tratadas con F5 resultaron ser susceptibles a hongos no patógenos de dicha especie, como *Mycosphaerella melonis*, *M. ligulicola* y *Alternaria alternata*.

Al mismo tiempo, la especificidad de acción del F5 coincide con el rango de huéspedes de *M. pinodes*. Este factor sólo actuó sobre las especies *Trifolium pratense*, *Pisum sativum*, *Medicago sativa* y *Milletia japonica*, plantas que son todas susceptibles en mayor o menor grado a *M. pinodes*.

Se tiene muy poca información acerca de los supresores y no se sabe gran cosa de los mecanismos de actuación. En la naturaleza se tiene evidencia sólo en siete especies de hongos patógenos, pertenecientes a tres únicos géneros.

J.A. Torés (Investigador del CSIC, La Mayora).

BIOLOGÍA ANIMAL

CONOCER A LOS CHIMPANCÉS POR LOS PELOS

Probablemente es el estrecho parentesco con el ser humano lo que hace tan fascinante la biología y el comportamiento de los chimpancés. En efecto, aunque no está completamente aceptada la filogenia de los grandes monos, el chimpancé tiene las mayores posibilidades de ser nuestro grupo hermano, es decir, la especie del reino animal con la que compartimos un ancestral más reciente. En otras palabras, la especie animal más emparentada con la humana.

La célebre investigadora Jane Goodall ha dedicado más de 30 años de su vida a seguir los pasos a un clan de chimpancés salvajes en el río Gombé (Tanzania). Sus observaciones sobre la biología, el comportamiento y las relaciones familiares de este grupo de animales son un clásico de la literatura biológica contemporánea. El problema estriba en que muchas hipótesis generadas durante el trabajo de campo son difíciles o imposibles de comprobar experimentalmente. Los chimpancés salvajes, estrictamente protegidos, no pueden ser capturados para tomar muestras. Además, la interacción con los humanos podría alterar de forma irreversible su comportamiento posterior. Esto impedía profundizar en cuestiones como el flujo genético entre poblaciones, el éxito reproductivo, las relaciones filogenéticas, etc.

Para abrir una nueva vía de investigación, un grupo de biólogos de las universidades de California en San Diego y de Texas se han asociado a Jane Goodall para desarrollar una técnica no invasiva de genotipado de los chimpancés del río Gombé [Morin et al., *Science*, **265**, 1193 (1994)]. Las muestras biológicas de las que han partido han sido simples mechones de pelo. Cada chimpancé fabrica cada noche un nido con ramas y hojas de árboles en el que duerme solo. Bastaba esperar a que comenzara la jornada de los simios para recolectar los pelos que habían perdido durante la noche. La reacción en cadena de la polimerasa permitió amplificar, y luego secuenciar, ocho loci en el DNA nuclear y otros dos en el DNA mitocondrial. Los loci nucleares correspondían a regiones hipervariables de DNA repetitivo cuyas diferencias eran proporcionales al grado de parentesco.

Los resultados han permitido ya con-

firmar la hipótesis de la exogamia femenina de los chimpancés. A diferencia de muchos mamíferos sociales, son los chimpancés hembras los que abandonan el grupo familiar para emparejarse con miembros de otro grupo, evitando así la endogamia. Esto origina un fuerte flujo genético entre las poblaciones, a veces sobre distancias de 600 a 900 kilómetros. Otra consecuencia de la exogamia femenina es que los machos de un grupo determinado están mucho más emparentados entre sí que las hembras. Ya era conocido el hecho de que son precisamente los chimpancés machos los que cooperan entre sí para defender el territorio, mientras que las hembras apenas colaboran. Por tanto, el mayor parentesco de los machos se ha considerado como una confirmación de la hipótesis de la selección por parentesco para explicar la evolución del comportamiento cooperante. Según esta hipótesis sociobiológica, la selección natural favorecerá la cooperación entre los parientes próximos puesto que al hacerlo así se incrementa la probabilidad de supervivencia y transmisión de los alelos compartidos por la familia.

Por otro lado, el análisis de las secuencias de DNA mitocondrial permitió constatar la gran divergencia entre las poblaciones de chimpancés de África

central y oriental por un lado, y las de África occidental por otro. Estas poblaciones occidentales, restringidas a las selvas de Senegal, Liberia, Gabón, Mali y Costa de Marfil, podrían constituir una tercera especie de chimpancé, junto a *Pan troglodytes*, el chimpancé de África central y oriental, y *Pan paniscus*, el chimpancé pigmeo. De hecho, se calcula que los chimpancés occidentales están genéticamente aislados de sus congéneres orientales desde hace al menos 1.6 millones de años.

Futuras investigaciones incluirán la determinación de las relaciones de paternidad en los chimpancés, una de las cuestiones más oscuras en esta especie. Esto es debido a que las hembras de los chimpancés suelen copular con todos los machos de su grupo. Por esta razón no era posible hasta ahora saber quién era el padre de quién en los clanes de chimpancés salvajes. ¿La posición más o menos elevada en la jerarquía social supone un mayor éxito reproductivo para los chimpancés? Si no es así, ¿por qué existe esta jerarquía perfectamente determinada? El hecho de que esto no se haya podido determinar todavía en el clan de río Gombé se debe a que buena parte de los padres de los chimpancés genotipados murieron durante una epidemia viral a finales de los ochenta. De todas formas, los biólogos no se arredran y planean extraer DNA de algunos huesos conservados de los chimpancés fallecidos en la epidemia.

R. Muñoz-Chápuli (Profesor Titular de Biología Animal).

PREMIOS NOBEL

Premios Nobel 1994 en Medicina y Fisiología

El pasado día 10 de octubre se hizo público el nombre de los dos laureados con el Premio Nobel de Medicina y Fisiología 1994. Se trata de los estadounidenses Alfred G. Gilman y Martin Rodbell. El galardón premia los trabajos de estos científicos que llevaron al descubrimiento de las proteínas G.

A. Gilman, nacido en 1944 en New Haven, cursó estudios en Yale, se doctoró en 1969 en la Universidad Case Western Reserve de Cleveland y realizó una estancia postdoctoral en el Instituto Nacional de Pulmón y Corazón de

Bethesda (Maryland). Entre 1977 y 1981 fue profesor en la Universidad de Virginia y actualmente trabaja en la Universidad de Texas (en Dallas) como profesor de Neurofarmacología Molecular.

M. Rodbell nació en 1925 en Baltimore. Después de estudiar Química en la Universidad John Hopkins se doctoró en Bioquímica por la Universidad de Washington. Entre 1967 y 1983 compartió su trabajo en Suiza, donde fue director del Instituto de Bioquímica Clínica de la Universidad de Ginebra, con importantes puestos en el Instituto Nacional de la

Salud (NIH) en Bethesda. Desde 1985 ocupa un cargo en el Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Medioambiental en Carolina del Norte.

A finales de los 60 y principios de los 70, Rodbell estudiaba cómo las señales químicas liberadas por glándulas, nervios y otros tejidos se transmitían al interior de la célula. Ya Earl Sutherland (Premio Nobel en 1971) había demostrado que la señal de comunicación intercelular (el primer mensajero) se convertía en otra señal que actuaba dentro de la célula (el segundo mensajero). Aparte de que dicha conversión ocurría en la membrana celular, poco más se sabía entonces sobre el asunto. Rodbell y sus colegas del NIH demostraron que la transducción de la señal a través de la membrana celular implicaba la acción cooperativa de tres entidades funcionales diferentes. Una era el receptor, al cual se une la molécula mensajera. Otra era el amplificador, generador del segundo mensajero. Un ejemplo es la adenilato ciclasa, productora de AMP cíclico. Rodbell advirtió que receptor y amplificador eran entidades diferentes y que, además, existía un transductor que actuaba como enlace entre receptor y amplificador, jugando así un papel clave en el proceso. Rodbell también demostró que el transductor ligaba e hidrolizaba guanosín trifosfato (GTP) en el proceso.

Durante su estancia en la Universidad de Virginia, Gilman se propuso determinar la naturaleza química del transductor de Rodbell. Trabajando con diferentes tipos de células de leucemia, aisló unas células mutantes que poseían un receptor normal y un amplificador

capaz de producir AMP cíclico, pero que no respondían normalmente cuando estaban en presencia del ligando del receptor, es decir, del mensajero. Gilman demostró que estas células carecían de función transductora. Después de años de trabajo, Gilman y sus colaboradores lograron, en 1980, identificar y purificar una proteína que, cuando era transferida a las células mutantes, restauraba su función. Esta fue la primera proteína G descubierta, así nombrada a causa de su capacidad de ligar GTP.

Desde entonces se han descubierto multitud de proteínas G y se conoce su papel en el control de muchas actividades celulares. Por ejemplo, proteínas G están implicadas en el control del metabolismo celular, la activación de células sensoriales, el flujo de iones a través de la membrana o la liberación de calcio desde su almacén intracelular. Por otra parte, muchos síntomas patológicos están relacionados con la función de proteínas G. Un caso conocido es el del cólera. En esta enfermedad, la toxina liberada por el vibrión colérico actúa sobre una proteína G del epitelio intestinal, e impide la hidrólisis del GTP. Esto provoca que la adenilato ciclasa se mantenga en estado activo, generando grandes cantidades de AMP cíclico. El resultado es una salida al exterior de agua y sodio, una importante pérdida de líquidos y una deshidratación severa que puede ser fatal. Otras enfermedades se relacionan con la alteración genética de proteínas G, incluyendo ciertos tumores, algunos desórdenes endocrinológicos o determinadas alteraciones en el metabolismo del calcio.

Estos inconvenientes están siendo superados gracias, por un lado, a los grandes avances realizados en los últimos años en la generación de embriones somáticos a partir de callos, cultivo de protoplastos o cotiledones y posterior regeneración de plántulas [Hanover, J.W. y Keatley, D.E., Eds., *Genetic Manipulation of Woody Plants*, Plenum Press, New York, (1988); Ruaud, *Plant Science*, **92**, 213 (1993)], y a la utilización de otras técnicas de transformación como el empleo de cañones de partículas y la microinyección. En la técnica de transformación empleando un cañón de partículas, las moléculas de DNA (plásmidos) portadoras de los genes de interés, son adheridas a micropartículas y proyectadas a gran velocidad sobre el tejido diana que se pretende transformar; muchas células mueren al recibir los impactos de la micropartículas, pero una pequeña proporción integran el DNA foráneo y pueden ser seleccionadas con genes marcadores apropiados. Ellis et al. [*Bio/Technology* **11**, 84 (1993)] han sido los pioneros en la transformación estable de coníferas mediante la utilización del cañón de partículas, obteniendo abetos transgénicos a partir de cultivos de callos embriogénicos. En la microinyección, el DNA es introducido directamente en la célula o núcleo y es especialmente indicado para la transformación de coníferas a partir de protoplastos (células vegetales desprovistas de la pared celular) (E.C. Kirby, comunicación personal).

La manipulación *in vitro* y la transformación de las coníferas abre grandes posibilidades como el acortamiento en los procesos de desarrollo, la alteración de los niveles de lignina o una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes del suelo. Esta última posibilidad es especialmente interesante en las coníferas, que suelen crecer en suelos poco nitrificados, donde el amonio es la principal fuente de nitrógeno. La deposición de sustancias nitrogenadas emitidas a la atmósfera por diversas actividades humanas [Schulze, *Science*, **244**, 776 (1989)] provoca un exceso de amonio disponible, que produce un efecto dañino sobre las especies forestales. La alteración de la expresión de los genes que codifican las enzimas implicadas en la asimilación de amonio y biosíntesis de aminoácidos [Cantón et al., *Plant Mol. Biol.* **22**, 819 (1993); García-Gutiérrez et al., *Plant Mol. Biol.*, en revisión]] permitirá abordar la obtención de coníferas transgénicas con una mayor eficiencia de utilización del nitrógeno inorgánico.

F. Gallardo (Investigador Contratado).

BIOLOGÍA MOLECULAR

BIOTECNOLOGÍA FORESTAL

En España, aproximadamente la mitad de la superficie se considera como forestal, mientras que la otra mitad sería objeto de cultivo agrícola. A pesar de la importancia cuantitativa de la superficie forestal en España y en nuestro planeta, la investigación dedicada a las especies forestales es muy limitada en comparación con las herbáceas. Estas diferencias son debidas especialmente al largo ciclo de vida de estas plantas. Esta característica, junto con las dificultades de manipulación y cultivo *in vitro* inherentes a las especies arbóreas, han conducido a una lenta incorporación de las nuevas tecnologías de propagación *in*

vitro y de ingeniería genética en los programas de mejora de las especies forestales.

Las coníferas forman el grueso de los bosques forestales. Aunque se han identificado varias cepas de *Agrobacterium* que infectan a varias especies de coníferas, la transformación estable basada en la infección bacteriana (véase Las plantas transgénicas como modelo para estudiar el metabolismo, *Encuentros en la Biología* número 13, Febrero 1994) plantea grandes problemas, al no existir adecuados protocolos de cultivo de tejidos *in vitro* compatibles con la transformación por *Agrobacterium*.

BIOLOGÍA VEGETAL

LA MACROFLORA MARINA DE LA ANTÁRTIDA CARECE DE LAMINARIALES

La región biogeográfica Antártica comprende el continente antártico y los archipiélagos situados al sur de la Convergencia Antártica (Shetlands del Sur, Orcadas del Sur, Georgias del Sur e Isla Bouvet). La Convergencia Antártica es una corriente circumpolar que constituye una neta barrera hidrográfica y biogeográfica. La temperatura del agua del mar oscila, a lo largo del año, entre -1.8°C y 1°C , alcanzándose los valores más altos en las costas de las Georgias del Sur (3.7°C).

La flora de algas marinas de la Antártida contiene alrededor de 100 especies, de las que cerca de un tercio son endémicas de la Antártida. Aunque el número total de especies sea similar al encontrado en zonas del Artico (109 especies en Groenlandia, y 120 en Nueva Zembla), en el Artico el porcentaje de endemismos es de solo un 5%. Esto se explica porque la Antártida es más longeva que el Artico como un habitat de aguas frías, y a la falta de conexiones costeras con zonas templado-frías, a diferencia del Artico, que se haya rodeado de grandes masas continentales.

La vegetación infralitoral de la Antártida se caracteriza por formaciones frondosas de algas pardas de gran porte (varios metros de longitud en *Himantothallus* y *Desmarestia*). En mares templado-fríos de todo el planeta se presentan comunidades fisiónómicamente similares cuyos miembros pertenecen al orden Laminariales. Hasta hace algunos años *Himantothallus* era incluido en este último orden, constituyendo el único miembro de las

Laminariales presente en la Antártida. No obstante, cuando se pudo estudiar su ciclo biológico en cultivo se comprobó que los estadios juveniles del esporófito presentaba caracteres típicos del orden Desmarestiales (por ejemplo, crecimiento tricotático, en vez de la presencia de un meristemo intercalar, como en Laminariales [Moe y Silva, *Science*, **196**, 1206 (1977)]. Estos resultados se confirmaron con los estudios de la fase gametofítica llevados a cabo por Wiencke y Clayton, [*Phycologia*, **29**, 9 (1990)].

La inclusión de *Himantothallus* en Desmarestiales llevó a la conclusión de que la Antártida es la única zona de aguas frías del planeta que carece de Laminariales. Un plan morfológico consistente en zona de fijación, estipe y lámina (como en Laminariales e *Himantothallus*) supone una configuración óptima para dar lugar a formaciones frondosas submarinas. Esta morfología evolucionó independientemente en estos grupos, así como en algunas especies de *Durvillaea* (orden Durvillaeales) y en el género monotípico *Ascoseira mirabilis* (orden Ascoseirales), también presentes en la Antártida.

Puesto que las comunidades de Laminariales presentan una alta diversidad específica e importancia ecológica notable, cabe sospechar que estas mismas características se presentan en las comunidades de Desmarestiales de la Antártida. No obstante, en la actualidad se carecen de datos ecológicos de las comunidades de Desmarestiales.

A. Flores (Profesor Ayudante).

visto afectado por la actividad humana. Así, su concentración ha crecido desde las 280 partes por millón al comienzo de la era industrial, hasta las actuales 380 partes por millón. Hay incluso estudios que predicen una duplicación de la concentración del CO_2 durante la primera mitad del próximo siglo, lo que constituye el nivel más elevado desde los últimos 160.000 años.

Ante la perspectiva del aumento, relativamente vertiginoso, de la concentración del anhídrido carbónico en la atmósfera, los científicos han tratado de predecir las alteraciones en la estructura y función del ecosistema que se derivarían de dicho cambio. De esta forma, se han llevado a cabo gran número de experimentos encaminados a describir la respuesta del mundo vegetal (principal implicado en la circulación de gases y agua en el ecosistema). Por otro lado, se ha intentado determinar el posible papel amortiguador de las plantas al actuar como contenedor del exceso de carbono. George Bowes presenta una amplia revisión del estado actual de las investigaciones en este campo, en su artículo *Facing the Inevitable: Plants and Increasing Atmospheric CO_2* [*Plant Physiol.*, **44**, 309 (1993)].

En principio cabe pensar que un aumento del sustrato principal de la fotosíntesis (CO_2) tendría un efecto fertilizador en las plantas. El anhídrido carbónico penetra por difusión en el interior de la planta a través de los estomas, llegando finalmente a los cloroplastos, donde es incorporado a la materia orgánica mediante una reacción enzimática de carboxilación. En dicha reacción participa el enzima ribulosa bifosfato carboxilasa-oxigenasa (rubisco), capaz de unir también O_2 en su centro activo. Aproximadamente el 95% de las especies vegetales terrestres son plantas tipo C_3 , en las que el producto final de la carboxilación son dos azúcares de tres átomos de carbono. La concentración de CO_2 en el interior de los cloroplastos en dichas plantas es aproximadamente $5\ \mu\text{M}$, inferior a la constante de semisaturación de la Rubisco, mientras que la concentración de O_2 es aproximadamente $240\ \mu\text{M}$. El O_2 compite con el CO_2 por el centro activo de la rubisco, lo que supone una pérdida de rendimiento de la fotosíntesis por fotorrespiración.

Se puede pensar que el aumento de la concentración de CO_2 , con el consiguiente aumento de la proporción CO_2/O_2 , disminuirá la fotorrespiración y aumentará las tasa fotosintéticas en este grupo de plantas. Además, la entrada del CO_2 a través de los estomas representa un coste energético, dado que en el proceso de intercambio de gases se pro-

ECOLOGÍA

LA FOTOSÍNTESIS EN UN AMBIENTE ENRIQUECIDO EN CO_2

El Hombre tiene la virtud de transformar el ambiente en que vive, lo que forma parte de su continuo proceso de conquista (que algunos califican, no con exagerado optimismo, de apocalíptico). Baste un ejemplo para demostrarlo: la concentración del CO_2 atmosférico ha cambiado a lo largo de períodos geológicos, en procesos que se han extendido en el

tiempo a través de miles de años. Desde el comienzo de la era industrial, en tan solo unos decenios, la actividad humana (o más exactamente, la actividad de una parte de la Humanidad) ha producido un cambio en la concentración del CO_2 atmosférico, de magnitud similar a aquellos. De hecho se afirma que este es el componente atmosférico que más se ha

duce la pérdida de entre 100 y 400 moléculas de agua. El incremento del CO_2 podría suponer un freno a las pérdidas de agua al reducir la apertura estomática.

El predicho efecto positivo del incremento del CO_2 sobre el crecimiento vegetal, se ha puesto de manifiesto experimentalmente en al menos 30 especies C3: cuando estas plantas se cultivaron en un ambiente rico en CO_2 aumentaron su peso total en aproximadamente un 30%. Además, el cultivo en tales ambientes llevó en algunos casos a una variación de la morfología de la planta (tales como una alteración de la razón raíz:tallo). Se ha comprobado igualmente que el aumento de la fotosíntesis es una respuesta común en vegetales que crecen en ambientes ricos en CO_2 , aunque también es frecuente que la planta retorne a los niveles iniciales de fotosíntesis después de un tiempo, en una respuesta típica de aclimatación. Es decir, el efecto sobre la fotosíntesis del incremento del anhídrido carbónico termina diluyéndose al cabo del tiempo. Esta respuesta se atribuye al hecho de que el incremento de la fotosíntesis se traduce en un exceso de almidón lo que entorpece el funcionamiento normal de los orgánulos, o bien a que el ritmo de reciclado de otros elementos (como el fósforo) frenaría la fotosíntesis. En último término, la fertilidad del hábitat y la disponibilidad hídrica limitan la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema de forma que, cuando la disponibilidad de nutrientes, luz o agua es escasa, es de esperar que el efecto del aumento del CO_2 sea débil.

En torno al 1% de las especies vegetales terrestres son C4. Estas se caracterizan por presentar un mecanismo de concentración de carbono que permite mantener altas concentraciones de CO_2 alrededor del centro activo de la Rubisco, lo que evita la pérdida de energía por fotorrespiración. Es de esperar por lo tanto (y así se ha comprobado experimentalmente), que el incremento del CO_2 atmosférico afecte sólo levemente al crecimiento y la fotosíntesis en estas plantas.

El hecho de que el aumento de la concentración de CO_2 afecte positivamente a plantas C3 y apenas tenga efecto sobre el grupo de las C4, ha llevado a pensar en una alteración de las relaciones competitivas entre ambos grupos de plantas. En este sentido, se ha afirmado que el cambio atmosférico supondrá un ventaja de las especies C3 sobre las C4. Sin embargo, habría que considerar que en la mayoría de los casos el CO_2 no es el factor principal que determina las relaciones de competencia entre las especies vegetales. Ade-

más, los experimentos de competencia llevados a cabo en ambientes con alto CO_2 son muy escasos, con resultados difícilmente extrapolables al medio natural.

Muchos de los experimentos de enriquecimiento con CO_2 , se han realizado con especies vegetales terrestres, habiéndose prestado menos atención a los efectos sobre los ecosistemas costeros, regiones altamente productivas. La mayoría de las especies vegetales acuáticas usan como fuente de carbono para la fotosíntesis tanto HCO_3^- como CO_2 . También es frecuente entre las especies acuáticas la presencia de mecanismos de concentración de carbono. El pH del agua de mar es 8,2 y la concentración de CO_2 se sitúa entre 8 y 19 μM (en un intervalo de temperatura desde 35 hasta 5°C). Según un estudio, con una concentración de 700 μbares de CO_2 en el aire, el CO_2 en la superficie del mar podría doblarse, mientras que el bicarbonato podría elevarse sólo el 6% (desde 2,2 hasta 2,34 mM). Así, una duplicación de la concentración del CO_2 apenas tendrá consecuencias para las especies capaces de usar bicarbonato ni para aquellas que presenten un mecanismo de acumulación de carbono; las principales beneficiadas serían aquellas que usan CO_2 como única fuente de carbono. Se puede vaticinar por tanto una alteración de las relaciones competitivas entre las especies acuáticas. En experimentos con macroalgas, se ha demostrado que el cultivo en condiciones de alta concentración de CO_2 da lugar a un aumento del crecimiento, aunque en general, la concentración del CO_2 usada en estos experimentos (entre 100 y 1000 veces superior a la real) hace dudar de la validez predictiva de tales observaciones. En general, la variabilidad del pH y del carbono inorgánico disuelto en las aguas dulces, el uso del bicarbonato y la plasticidad de las plantas unido a la escasez de datos experimentales adecuados, dificulta cualquier predicción.

La capacidad predictiva del biólogo se ve en todo momento limitada por la propia naturaleza de lo que constituye el objeto de su investigación: los organismos desarrollan una gama muy variada de respuestas y estrategias, muchas de ellas inesperadas. La pregunta sobre los efectos a escala planetaria en el ecosistema del aumento de la concentración del CO_2 carece de respuesta científica válida ... y quizás hasta de sentido biológico.

J. Mercado (Becario de Investigación).

NOTICIAS

Atracción fatal

Myxococcus xanthus es una bacteria Gram-negativa que se encuentra en suelos húmedos, excrementos y en otros lugares ricos en materia orgánica. Esa bacteria es "depredadora" en el sentido de que se alimenta de otros microorganismos a los que mata y digiere extracelularmente mediante la producción de antibióticos y enzimas degradativas. Una de las "presas" favoritas de *Myxococcus* es el colibacilo (*Escherichia coli*), muy abundante en los excrementos. El problema está en que el colibacilo puede desplazarse, gracias a sus flagelos, mucho más rápido que *Myxococcus*. Por ejemplo, en agar al 0.3%, el colibacilo alcanza velocidades de un milímetro por minuto, mientras que *Myxococcus* apenas recorre 20 micrómetros en ese tiempo. ¿Qué posibilidad tiene el depredador de alcanzar su presa? Muchas, según el descubrimiento hecho por dos biólogos californianos [Shiy Zusman, *Nature*, 366, 414 (1993)]. Cuando se colocan próximas en un cultivo colonias de *Myxococcus* y colibacilos, éstos se desplazan rápidamente hacia los primeros, donde son lisados y digeridos. Cepas mutantes de colibacilos carentes de los genes responsables del quimiotactismo (el desplazamiento hacia una sustancia química atrayente) no mostraron este comportamiento. La conclusión es que *Myxococcus*, cuando carece de alimento, produce una sustancia atractiva para los colibacilos. Aunque se desconoce la naturaleza de esta sustancia, probablemente se trate de aminoácidos. *Myxococcus* es el primer ejemplo de una bacteria que se aprovecha del comportamiento quimiotáctico de otro microorganismo para sus propios fines.

Leones con moquillo

Desde febrero de este año, la población de leones del Parque Nacional del Serengeti, en Tanzania, se ha visto atacada por una epidemia de graves consecuencias. Los leones afectados presentaban convulsiones y movimientos espasmódicos, eran incapaces de mantenerse en pie y alimentarse. Los casos más severos acababan con la muerte del animal, aunque otros animales lograron recuperarse espontáneamente. Aproximadamente unos 60 leones han muerto en cinco meses, de una población total de unos 3.000. El agente de la epidemia

acaba de ser identificado [Morell, Science, 264, 1664 (1994)]. Se trata del virus del moquillo, una grave enfermedad de los perros. Hasta ahora, este virus había atacado muy raramente a otras especies, aunque se conocen casos en mofetas, mapaches y hurones. También se han detectado casos en grandes felinos mantenidos en cautividad, pero esta es la primera vez en que aparece una epidemia con estas características en una población salvaje de felinos. Tal vez la cepa vírica haya adquirido unas características genéticas que le han permitido vencer las defensas naturales de los leones. Mientras esto se investiga, poco se puede hacer por los leones. Las vacunas disponibles están elaboradas a partir de virus debilitados, y resultaría arriesgada su utilización. Se confía en que, al menos los que han sobrevivido a la enfermedad, desarrollen inmunidad frente a futuros brotes.

Próximos Seminarios de Biología y Biomedicina
28 Octubre: Paleontología humana: Los primeros europeos (Paul Palmqvist),
11 Noviembre: Diferenciación de células osteogénicas *in vitro* (José Becerra).
Tendrán lugar en el aula B-2 de la Facultad de Ciencias a las 12:30 horas.

Correspondencia a:
Encuentros en la Biología,
Salvador Guirado (Editor),
Depto. Biología Celular,
Facultad de Ciencias,
Campus de Teatinos, 29071 (Málaga)
Tfno.: (95) 2131961
Fax: (95) 2132000

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE IDEAS DE LOS ALUMNOS

Durante las dos últimas décadas se han publicado numerosos trabajos acerca de las ideas de los alumnos sobre gran variedad de fenómenos. Los resultados ponen de manifiesto varias maneras de entender el problema.

1.- Descripción de las características.

Driver se basa en numerosos trabajos propios y ajenos para describir los siguientes aspectos que aparecen sistemáticamente en los datos:

* Están guiadas por la percepción.

* Poseen un enfoque limitado que se manifiesta en:

a) Tendencia a interpretar los fenómenos en relación con propiedades absolutas de los objetos.

b) Tendencia a centrarse en los cambios y no en los estados de equilibrio.

* Usan un razonamiento causal lineal.

* Usan los conceptos de una manera indiferenciada.

* Suelen ser dependientes del contexto.

2.- El razonamiento causal lineal.

Andersson (1986) propone la existencia de un núcleo común, al que denomina: "Experiential gestalt of causation" que contiene: sistema, agente y cambio. Gutiérrez y Ogborn (1992) lo extienden considerando que el modelo causal de los alumnos:

* Contiene una representación mental de la estructura del sistema físico al que se aplica.

* Incluye los "Episodios" o periodos de tiempo, durante los cuales, las explicaciones se mantienen inalteradas.

* Solo es aceptable si cumple las restricciones de consistencia, correspondencia y robustez.

3.- Consistencia en los modelos explicativos.

Bastantes autores ponen en cuestión la inconsistencia intrínseca de las explicaciones de los alumnos. Black y Simon (1992), hablan de mundos distintos al referirse al conocimiento de alumnos y profesores, que corren el peligro de considerarse mutuamente inconsistentes. Prieto, Watson y Dillon (1993), encuentran que los esquemas alternativos más potentes suelen ser usados de forma más consistente que los más débiles, y que el aprendizaje pasa por el abandono del uso consistente de las teorías alternativas, como paso intermedio.

4.- Relaciones con los niveles de desarrollo cognitivo.

Monk (1991) en la más ortodoxa línea piagetiana, compara las explicaciones a diferentes fenómenos con la proporción de alumnos en cada nivel de desarrollo. La correlación le lleva a concluir que:

* Existe un techo relativo en cualquier estadio de desarrollo.

* Mediante enseñanzas adecuadas se puede llevar a los alumnos a este techo pero no lo traspasarán si su nivel de desarrollo no es promocionado.

Por tanto, se trata de alcanzar madurez en el razonamiento en vez de adquirir los conocimientos que puedan faltar.

5.- El modelo de categorías ontológicas.

Chi, Slotta y Leeuw (1992) se refieren tanto a las concepciones alternativas como a la naturaleza del cambio conceptual. Los conceptos se agrupan por su pertenencia a unas pocas categorías ontológicas. Las diferencias entre categorías son tan profundas que los elementos pertenecientes a una categoría no pueden ser transformados en elementos de otra.

El modelo para el cambio conceptual contempla dos modalidades:

* El que se produce dentro de una categoría ontológica (cambio conceptual no radical).

* El que tiene lugar entre categorías ontológicas diferentes (cambio conceptual radical).

Esta propuesta ayuda a entender la contradicción entre los autores que se refieren al desarrollo de conceptos como un proceso evolutivo y los que afirman que las ideas de los alumnos son robustas y difíciles de cambiar. Los primeros casos podrían ser clasificados como cambios conceptuales dentro de una categoría ontológica, mientras los segundos podrían ser considerados cambios conceptuales entre dos categorías distintas.

La existencia de estos enfoques muestra que no existe una línea predominante. El conocimiento de los mismos nos debe ayudar a situarnos ante el problema con la prudencia y la relatividad necesarias para no caer en posturas tan extremas como ingenuas.

Referencias bibliográficas disponibles a través de la autora.

T. Prieto (Profesora Titular de Didáctica de las Ciencias Experimentales).