

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA

ISSN 1134-8496

Editor: Salvador Guirado. **Comité editorial:** Ramón Muñoz-Chápoli, 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.**

MICROBIOLOGÍA

LAS BACTERIAS METANOGÉNICAS Y SU APROVECHAMIENTO BIOTECNOLÓGICO

Las bacterias metanogénicas son un grupo bacteriano ubicuo que produce elevadas cantidades de metano como consecuencia de su metabolismo energético. Son anaerobias estrictas, miembros del dominio *Archaeobacteria*. Están distribuidas en un gran número de hábitats anaerobios participando en la descomposición de la materia orgánica como estadio terminal en la cadena trófica anaerobia. Así, están presentes en sedimentos marinos y de aguas continentales, lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales, suelos, fuentes termales y zonas volcánicas, tracto intestinal del hombre y de animales, madera, placa dental, y como endosimbiontes de protozoos. El rango de temperaturas de crecimiento va desde la mesofilia (25°C) hasta la termofilia extrema (97°C o incluso por encima de los 100°C). Las metanobacterias crecen mejor bajo condiciones de pH neutro (6,5-7,5) [Ferry, J.G., Ed., *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York, London, (1992)]. Este grupo bacteriano posee unas características diferenciales únicas, incluyendo la posesión de lípidos de membrana con compuestos de éteres isoprenoides unidos a glicerol (archaeol y caldarchaeol) [Koga et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 164, (1993)], diferentes tipos de pared bacteriana [König, H., *Can. J. Microbiol.*, **34**: 395, (1988)]. Las metanobacterias contienen una gran cantidad de nuevos coenzimas que están asociados con la bioquímica de la síntesis de metano: metanofurano, metanopterina, coenzima F420, coenzima M, factor F430, factor mobile, corrinoideos (factor III y pseudovitamina B12). Filogenéticamente difieren de eucariotas y de eubacterias. De las 68 especies conocidas hasta el momento, el 77% son hidrogenotrofas, el 14% acetotrofas y el 28% metilotrofas, siendo

10 especies metilotrofas obligadas. Sólo un 3% de especies utilizan hidrógeno para reducir metanol a metano. Así, un número todavía indeterminado de alcoholotrofas pueden producir metano a partir de dióxido de carbono utilizando alcoholes como donadores de hidrógeno; 2-propanol es oxidado a acetona, y el 2-butanol a 2-butanona. El monóxido de carbono puede ser también transformado a metano; la mayoría de las especies hidrogenotrofas (60%) pueden también utilizar formiato. Algunas especies acetoclásticas son incapaces de oxidar hidrógeno [Ferry, J.G., Ed., *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry & Genetics*, New York, London, (1992)]. Las especies acetoclásticas del género *Methanosarcina* constituyen el más diverso de las metanobacterias, mientras que el género acetoclástico *Methanosaeta* (*Methanothrix*) sólo puede utilizar acetato [Balows, A., Trüper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. y Schleifer, K.H., Eds., *The Prokaryotes*, New York, (1992)].

Las metanobacterias están dentro del reino *Euryarchaeota* que junto con el *Crenarchaeota* constituyen el dominio *Archaea* [Woese et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **87**: 4576, (1990)]. Se distinguen tres órdenes de metanobacterias: *Methanobacteriales* (familias *Methanobacteriaceae* y *Methanothermaceae*), *Methanococcales* (familia *Methanococcaceae*) y orden *Methanomicrobiales* (familias *Methanomicrobiaceae*, *Methanocorpusculaceae*, *Methano-*

planaceae y *Methanosarcinaceae*); aunque debido al descubrimiento de un nuevo microorganismo (*Methanopyrus kandleri*) se ha propuesto un nuevo orden para su inclusión, *Methanopyrales* [Burggraf et al., *Syst. Appl. Microbiol.*, **14**: 346, (1991)]. El DNA genómico de las metanobacterias varía entre 26 y 68 mol% de G+C; aunque algunas regiones intergénicas son frecuentemente más ricas en A+T que el valor del DNA genómico [Reeve, J.N., *Annu. Rev. Microbiol.* **46**: 165, (1992)]. Los ribosomas de las metanobacterias tienen un tamaño intermedio entre el bacteriano y el de eucariotas, es 70S y se disocia en dos subunidades 30S y 50S. La subunidad 30S contiene 16S rRNA, y la subunidad 50S contiene 5S y 23S rRNAs (posee r-proteínas adicionales). Las proteínas ribosomales de las metanobacterias son inusualmente ácidas, en contraposición a las de eubacterias y eucariotas que son básicas. Existen pocos elementos extracromosómicos descritos en metanobacterias, siendo crípticos, principalmente se encuentran en *Methanobacteriales*, *Methanococcales* y *Methanomicrobiales* [Sebald, M., Ed., *Genetics and Molecular Biology of Anaerobic Bacteria*, New York, (1993)].

La concentración atmosférica de metano es de 1,7 ppm, siendo el segundo gas más abundante compuesto por carbono, incrementándose su tasa por año a razón del 1% [Cicerone y Oreland, *Global Biogeochem. Cycles*, **2**: 299, (1988)]. Cada año alrededor de 400-640 x 10¹² g de metano se liberan a la atmósfera, siendo el 74% procedente de actividad microbiana. La contribución del metano liberado a partir del medio marino es mucho menor que la obtenida en otros hábitats, debido a la competencia

Las bacterias metanogénicas y su aprovechamiento biotecnológico	1
Sistemas de autoincompatibilidad reproductora en plantas con flores (I)	2
Fibrosis quística y cólera. Las ventajas de una mutación letal	3
Otros "trabajadores" del cerebro	4
Bioturbación en la interfase sedimento-agua: ¿Eutrofización?	5
Noticias	6
El aprendizaje de las ciencias y el contexto	7

ejercida por las sulfatorreductoras y los organismos oxidadores de metano que limitan su producción y liberación [Balows, A., Trüper, H.G., Dworkin, M., Harder, W. y Schleifer, K-H., Eds., *The Prokaryotes*, New York, (1992)].

El incremento de los problemas causados por los polucionantes orgánicos junto con la crisis energética, y la necesidad de búsqueda de fuentes alternativas de energía han hecho resurgir el interés por la digestión anaerobia. La producción de metano es un importante proceso que se realiza en la naturaleza y que puede ser empleado en biotecnología para la depuración de las aguas residuales industriales, agrícolas y domésticas. La primera evidencia de la producción de un gas combustible a partir de residuos orgánicos se debe a Robert Boyle y Stephen Hall en el siglo XVII, posteriormente Alexandro Volta en 1776 comprueba la liberación de un gas combustible a partir de residuos vegetales en sedimentos de lagos. El proceso de la digestión anaerobia ha sido utilizado para el tratamiento de las aguas residuales desde hace ya más de 100 años, en 1881 se utilizó por primera vez y 1895 Cameron creó el primer tanque capaz de producir metano en Exeter (Inglaterra) y utilizó este gas para el alumbrado público de esta población. Recientemente se han producido grandes avances sobre el diseño y la microbiología de este proceso, utilizándose de forma habitual en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas.

Los estadios metabólicos implicados en la producción de metano a partir de la digestión anaerobia de las aguas residuales son los siguientes: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis [Kosaric, N. y Blaszczyk, R., *Advances Biochem. Engr. Biotechnol.*, **42**: 27, (1990)].

Las ventajas del tratamiento anaerobio son las siguientes:

- No se requiere aireación.

- No es necesario suplementar con nutrientes para mantener una adecuada relación materia orgánica-nitrógeno-fósforo.

- Elimina del 80-90% de los lodos excedentes de otros procesos biológicos.

- Reducción de malos olores por realizarse en digestores cerrados.

- Destruye gran parte de los microorganismos patógenos.

- El residuo sólido contiene 25% de nitrógeno proteico (bacteriano), 3% de nitrógeno en forma de amonio, 9% de lípidos, 6% de fosfato en forma de P_2O_5 y 1,4% de potasio como K_2O . Por tanto se le puede considerar como un buen acondicionador de suelos y fertilizante.

- Entre 10-15 Kg de materia orgánica podrían producir alrededor de 3 m³ de biogás conteniendo un 40-80% (p/v) de metano con un valor calorífico de 13.720-27.440 KJm⁻³. Esta energía sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas diarias de una familia equivalentes a 7,5 horas de cocina de gas [Nyns, E-J., *Enzyme Microb. Technol.*, **12**: 151, (1990)].

La aplicación de la termofilia (55°C) al tratamiento de las aguas residuales ha recibido un creciente interés en los últimos años, aplicándose a las aguas residuales agrícolas y urbanas, permitiendo una eliminación de microorganismos patógenos más eficiente que en digestores mesófilos, además de una reducción de los tiempos de retención, debido a que las reacciones bioquímicas se realizan a mayor velocidad a altas temperaturas. La desventaja principal del proceso termófilo es la aplicación de una elevada energía para el mantenimiento de estas elevadas temperaturas, con el consiguiente elevado coste de mantenimiento. Otra desventaja la constituye la existencia en los procesos termófilos de una gran inestabilidad a cambios bruscos de temperatura. El tratamiento termófilo puede ser aplicado en

el tratamiento de aguas residuales de industrias cafeteras, destilerías de alcohol e industrias azucareras [Lowe et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 451, (1993)].

En los últimos años se está investigando la utilización de la digestión anaerobia junto con la creación de los denominados parques hidropónicos mediante la técnica de la película cargada de nutrientes (NFT: Nutrient Film Technique), que reciben y clarifican el agua que sale del tratamiento anaerobio, que en este caso es utilizado como primario, posibilitando un elevado rendimiento en el crecimiento de las plantas y con una producción de biomasa 10 veces superior a la natural. Sólo se requerirían unas pocas hectáreas de tierra para una población de 10.000 habitantes con un valor energético en biomasa de 30.000 a 50.000 dólares anuales [Jewell W.J., *American Scientist*, **82**: 366, (1994)].

Otra posible aplicación biotecnológica de las bacterias metanogénicas es la utilización de estas bacterias para el tratamiento de sustancias tóxicas o compuestos recalcitrantes denominados xenobióticos, bien por su degradación o mediante la modificación de su estructura transformándolos en compuestos no tóxicos. Este grupo incluye a metanobacterias que degradan compuestos halogenados como el pentacloroetileno, que es transformado a tricloroetileno por *Methanosarcina mazei* S6 y *Methanosarcina* DCM por dechloración reductiva, y esta última cepa de *Methanosarcina* es capaz también de reducir el tetracloroetano a tricloroetano. También el pentaclorofenol es degradado a H_2+CO_2 y acetato por *Methanobacterium ivanovii*, *Methanobacterium formicicum* T1N y *Methanosarcina barkeri* [Lowe et al., *Microbiol. Rev.*, **57**: 451, (1993)].

J.M. Sánchez García (Becario de Investigación).

BIOLOGÍA VEGETAL

SISTEMAS DE AUTOINCOMPATIBILIDAD REPRODUCTORA EN PLANTAS CON FLORES (I)

Los sistemas de autoincompatibilidad en la interacción polen-pistilos de plantas con flores, es uno de los mecanismos que se han desarrollado evolutivamente para impedir la endogamia y favorecer los cruzamientos entre gametos de dis-

tinta dotación genética. Esto contribuye a la generación de una mayor variabilidad y por tanto de posibilidades de adaptación que asegure la supervivencia de la especie. Los sistemas de auto-incompatibilidad se pueden definir como "la inca-

pacidad de una planta hermafrodita fértil de producir zigotos tras la autopolinización" [de Nettancourt, *Incompatibility in Angiosperms* (1977)].

Se trata de un fenómeno ampliamente distribuido entre las angiospermas, presente en más de la mitad de todas las especies de plantas con flores. Aunque se desconoce si tal sistema ha surgido una sola vez o varias de forma independiente a lo largo de la evolución vegetal, los estudios realizados parecen indicar que se trata de un fenómeno de aparición temprana en la historia de estos vegetales.

La base biológica de este proceso consiste en un control genético, siendo en muchos casos determinado por un locus simple (denominado locus S) con un gran número de alelos [de Nettancourt, íbd.]. Aunque existen sistemas más complejos determinados por varios loci. Si bien existen diversos tipos de sistemas de autoincompatibilidad, algunos de ellos aún no bien definidos, los casos estudiados en mayor detalle hasta la fecha son el Sistema de Autoincompatibilidad Gametofítica (SI gametofítico) en miembros de la familia Solanaceae y el Sistema de Autoincompatibilidad Esporofítica (SI esporofítica) en la familia de las crucíferas (Brassicaceae). La diferencia entre ambos radica en que mientras que en el primero el fenotipo SI del polen es determinado por su propio genotipo S haploide, en el segundo las características de autoincompatibilidad del polen viene determinada por el genotipo S diploide de la planta productora del mismo. En consecuencia un grano de polen con genotipo haploide S_2 producido por una planta con genotipo S_1S_2 será compatible con el pistilo de una planta con genotipo S_1S_3 en el sistema gametofítico, pero no en el esporofítico. Cada uno de los números representa un alelo diferente del locus S.

En angiospermas la fecundación se inicia con la llegada del polen al pistilo, depositándose sobre la superficie de la estructura receptora, denominada estigma. Una vez allí se producen una serie de sucesos que conllevan la hidratación del grano de polen y su germinación, desembocando en la formación y crecimiento del tubo polínico que atraviesa el estigma y progresa en el estilo a través de filas longitudinales de células hasta alcanzar el ovario. En la mayor parte de los SI gametofíticos el grano de polen incompatible germina normalmente sobre el estigma, el tubo polínico se desarrolla hasta que en algún punto del estilo su crecimiento es inhibido y termina muriendo. En cambio, en el sistema esporofítico el fenómeno de incompatibilidad es más drástico quedando detenido el proceso sobre la superficie del estigma.

Todo esto nos lleva a pensar que el problema de la autoincompatibilidad se basa en un proceso de reconocimiento y respuesta entre la estructura masculina (grano de polen) y femenina (pistilo) que intervienen en el apareamiento.

En la actualidad se está empezando a conocer los factores y mecanismos moleculares implicados en estos procesos que determinan la posibilidad de cruzamiento en plantas con flores. Al igual que en otros muchos aspectos de la

Biología Vegetal la aplicación combinada de técnicas Bioquímicas, Citológicas, Genéticas y de Biología Molecular son especialmente fructíferas. Como es de suponer, los estudios en ambos tipos de SI se han centrado en dilucidar la naturaleza y función de los productos codificados por el locus S.

En el SI gametofítico se inició con la observación de que extractos de pistilos contenían ciertas glicoproteínas, las cuales se asociaban a un genotipo S concreto. La purificación y secuenciación parcial de una de ellas a partir de extractos de *Nicotiana glauca* [Anderson et al., *Nature* 321, 38 (1986)] permitió el diseño de sondas de ácidos nucleicos, con las cuales se aislaron cDNAs que codificaban distintas especies de la glicoproteína de *N. glauca*, así como de otras solanáceas. La comparación de todas las estructuras primarias deducidas reveló que a pesar de la gran variabilidad que mostraban existían unas pequeñas regiones, incluyendo dos residuos de histidina y ocho de cisteína, idénticos en todas ellas.

Los análisis conjuntos empleando la hibridación de DNA genómico, estudios de polimorfismo en los patrones de restricción (RFLP) y experimentos de cruce convencionales han permitido determinar que cada uno de los cDNAs clonados corresponden a un alelo diferente del locus S [Anderson et al., *Plant Cell*, 1, 483 (1989)]. Es por ello, por lo que actualmente se habla de glicoproteínas-S.

Un grupo interesado en las ribonucleasas de hongos [Kawata et al., *Eur. J. Biochem.*, 198, 1 (1990)] señaló que la glicoproteína-S₂ compartía dos cortas regiones de homología con la secuencia correspondiente a la RNasa

fúngica. Esta similitud no pasó inadvertida para los investigadores interesados en los sistemas SI, especialmente cuando se comprobó que dichas regiones se correspondían con las secuencias que rodean los dominios catalíticos de la ribonucleasa e incluía los residuos de histidina conservados que son esenciales para la actividad enzimática, así como cinco de los ocho residuos de cisteína conservados. Este hallazgo fue extendido a otras glicoproteínas-S de *N. glauca* y estudios bioquímicos confirmaron dicha actividad RNasa [McClure et al., *Nature*, 342, 955 (1989)].

Análisis inmunocitoquímicos y de hibridación "in situ" han demostrado que los productos del locus S se acumulan principalmente en la superficie del estigma y en la matriz extracelular de las líneas de células que constituyen la parte interna del estilo. De esta forma, el tubo polínico en su avance hacia el ovario no puede evitar entrar en contacto con las glicoproteínas-S con actividad RNasa. Diversos estudios realizados apoyan fuertemente la idea de que las glicoproteínas-S actuarían degradando el RNA del tubo polínico incompatible [McClure et al., *Nature*, 347, 757 (1990)], el cual no podría responder a este ataque dado que los genes para los rRNA no son transcritos en el polen [Mascarenhas, *Plant Cell*, 5, 1303 (1993)], causando así la muerte del mismo. Sin embargo, se desconocen los procesos que conducen a que la degradación ocurra sólo en tubos polínicos con fenotipos incompatibles y no en los compatibles.

F. R. Cantón (Becario de Investigación)

BIOLOGÍA ANIMAL

FIBROSIS QUÍSTICA Y CÓLERA. LAS VENTAJAS DE UNA MUTACIÓN LETAL

En el número 2 de *Encuentros en la Biología* (noviembre, 1992), comentábamos las investigaciones genéticas sobre la fibrosis quística, la enfermedad hereditaria fatal más común en poblaciones blancas de entre las autosómicas y recesivas. Uno de cada 2.500 nacidos sufre la enfermedad, que se manifiesta por mucosidades espesas, obstrucción intestinal y pancreática, y problemas respiratorios que suelen acortar mucho la esperanza de vida.

En aquel artículo se describía la lar-

ga marcha hasta la identificación del gen implicado en la fibrosis quística. Se trataba de un gen codificante para un canal iónico transmembranario, responsable del transporte extracelular de cloro (el canal CFTR, por Cystic Fibrosis Transmembrane conductance Regulator). La mayor parte de los enfermos de fibrosis quística presentan una delección de tres bases que origina la pérdida de un aminoácido y el mal funcionamiento del canal del cloro. Como consecuencia, las secreciones epiteliales están poco

hidratadas y provocan los graves efectos antes citados.

El cólera es producido por la invasión del intestino delgado por la bacteria *Vibrio cholerae*. La toxina de este microorganismo provoca un flujo masivo de agua e iones cloro y sodio desde el epitelio intestinal hasta la luz del tubo digestivo, lo que se manifiesta en una grave diarrea que puede ser fatal si no es controlada. Es curioso como cólera y fibrosis quística están relacionados de forma opuesta por la función del canal iónico CFTR. En el caso de la fibrosis quística el problema estriba en su falta de función y en el del cólera en su actividad excesiva.

¿Qué pasa en los individuos heterocigotos que llevan una copia normal y una copia mutada del gen? Se pensaba que quizá tuvieran una menor cantidad de canales CFTR y que esto podría proteger contra los efectos del cólera, al estar más limitado el flujo extracelular de cloro. ¿Cómo puede ponerse a prueba esta hipótesis?

En nuestro artículo mencionábamos el desarrollo de un modelo animal para el estudio de la fibrosis quística. Se trataba de una cepa de ratones cuyo gen *CFTR* había sido alterado mediante ingeniería genética. Los ratones *CFTR*(-) morían hacia los treinta días del nacimiento a causa de un cuadro similar a la fibrosis quística en humanos. Los heterocigotos eran aparentemente normales. Pues bien, el mismo equipo que desarrolló este

modelo animal en la Universidad de Carolina del Norte lo ha utilizado para comprobar la hipótesis descrita antes [Gabriel et al., *Science*, **266**, 107 (1994)]. Los resultados mostraron que los ratones heterocigotos *CFTR* (+/-) produjeron la mitad de secreción intestinal que los ratones control a iguales dosis de toxina colérica. Dicho de otra forma, los ratones con una copia mutada del gen *CFTR* resistían mejor los efectos de una infección colérica que los ratones normales.

¿Qué consecuencia tiene esto? Probablemente estén aquí las razones de la relativamente alta frecuencia de la fibrosis quística en nuestras poblaciones. La resistencia de los heterocigotos a las infecciones intestinales puede haberles proporcionado una ventaja reproductiva respecto a los no portadores de la mutación, incrementando así la frecuencia de los alelos defectuosos en la población. No es el único caso conocido en que un defecto genético humano es, a la vez, beneficioso y perjudicial. Algo muy similar ocurre con la alta frecuencia de la anemia falciforme en poblaciones de raza negra. La mutación responsable de la enfermedad, y que se produce en el gen de la hemoglobina, origina una grave enfermedad en homocigosis, pero en heterocigosis protege contra la malaria.

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

con amonio por la actividad del enzima glutamina sintetasa da lugar a glutamina. La glutamina es transportada hasta las neuronas donde éstas volverán a sintetizar GABA o glutamato. Si bien hasta ahora sólo se ha probado la existencia de este metabolismo parcial para el glutamato y el GABA, se conoce la existencia en los astrocitos de receptores para muchos otros neurotransmisores, indicando que los astrocitos son capaces de entender el lenguaje químico producido por las neuronas.

Otra función que realizan estas células gliales es el mantenimiento del equilibrio iónico en el ambiente extracelular que rodea a las neuronas. Los astrocitos responden a los elevados niveles transitorios de K^+ o Cl^- , liberados al espacio extracelular como consecuencia de la actividad nerviosa, retirando dichos iones y restableciendo el medio externo de las neuronas.

Por otro lado, los astrocitos están implicados en el desarrollo cerebral: forman un red estructural a modo de andamio por el cual las neuronas se desplazan durante el desarrollo. Se ha comprobado que los astrocitos sintetizan y liberan factores neurotróficos (sustancias necesarias para la supervivencia y mantenimiento neuronal) tales como el factor de crecimiento nervioso (NGF) y el factor neuronal derivado de la glia (GDNF). Esta capacidad de estimular el crecimiento de las neuronas podría estar relacionado con el restablecimiento de conexiones interrumpidas tras una lesión cerebral no demasiado drástica. Los astrocitos responden a una lesión dividiéndose y formando una cicatriz.

Una actividad adicional llevada a cabo por los astrocitos es la de inducir la formación de la barrera hematoencefálica, barrera que 'filtra' selectivamente las sustancias que pasan desde la circulación sanguínea al sistema nervioso o viceversa. En un principio, se creía que dicha barrera estaba constituida por los pies terminales de los propios astrocitos, los cuales rodean a las células endoteliales de los vasos sanguíneos. Se ha demostrado que este concepto es erróneo. La barrera está formada por las propias células endoteliales que actúan seleccionando las sustancias que deben entrar o salir del tejido nervioso. La implicación de los astrocitos radica en inducir la formación de las uniones estrechas que 'sellan' los espacios intercelulares, impidiendo de esta forma el paso de moléculas entre células endoteliales adyacentes, lo que constituye la base estructural de la barrera hematoencefálica.

Se sabe que las células gliales son

BIOLOGÍA CELULAR

OTROS "TRABAJADORES" DEL CEREBRO

En un número anterior de *Encuentros en la Biología* (véase E.B nº 17, Octubre 1994) se trataba un tipo celular perteneciente a la glia: la microglia o células de Hortega, y su papel al actuar como 'basureros' del cerebro. En esta ocasión, abordaremos otro tipo de célula glial, los astrocitos, y la importancia que tienen como participantes activos en la fisiología del cerebro.

Los astrocitos, como su propio nombre indica, son células de aspecto estrellado. Entre sus características citológicas destacan las expansiones citoplasmáticas que en los extremos se dilatan formando los denominados pies terminales, y la naturaleza exclusiva de su citoesqueleto, formado especialmente por una proteína conocida como proteína glial fibrilar ácida (GFAP). Lo más llamativo, sin embargo, ha sido el descubri-

miento, en la pasada década, de que los astrocitos son íntimos compañeros de sus vecinas las neuronas, suministrando nutrientes esenciales para la actividad neuronal y colaborando en la transmisión de las señales neuronales mediante la captación de iones y neurotransmisores.

Se ha demostrado que los astrocitos intervienen en el metabolismo de, al menos, dos neurotransmisores: el glutamato y el ácido g-aminobutírico (GABA). Cuando hay una liberación de estos neurotransmisores en las sinapsis (estructuras especializadas en la transmisión de señales entre neuronas), y tras su acción sobre la célula postsináptica, deben ser retirados para que no interfieran en la actividad neuronal subsiguiente. Pues bien, en este 'reciclaje' intervienen los astrocitos, que captan estos neurotransmisores transformando el

capaces de producir óxido nítrico, un gas difusible que es capaz de actuar como neurotransmisor en volúmenes de tejido nervioso. Este hecho tiene especial significado dada la abundancia de astrocitos (su relación respecto al de neuronas puede llegar a ser de 9 a 1) y la gran variedad de interacciones posibles que el óxido nítrico puede tener con la química celular [Murphy S., *Trends in Neurosciences*, 16 (1993)].

Estas son algunas de las funciones conocidas que realizan los astrocitos. Dada la importancia de dichas células en la fisiología del cerebro, podemos pensar que si una célula interviene en actividades esenciales, su alteración funcional dará lugar a la aparición de patologías. Se tienen evidencias directas de la implicación de los astrocitos en la enfermedad de Parkinson (alteración motora cuyos síntomas se manifiestan por temblores y rigidez muscular) y en la enfermedad de Huntington (demencia progresiva). Ambas enfermedades están causadas por un metabolismo anormal de determinadas sustancias por parte de los astrocitos. Así por ejemplo, en la

enfermedad de Huntington, el problema se halla en la acumulación de ácido quinolínico por un mal funcionamiento enzimático. Esta acumulación lleva a la pérdida de grupos neuronales y a la consiguiente degeneración nerviosa. Otro aspecto destacado en la patología del sistema nervioso es que son las células gliales más que las neuronas las que tienden a volverse cancerosas y producir tumores cerebrales.

Esta breve incursión en el mundo de los astrocitos debería hacernos ver que como las neuronas son células tan especializadas, sólo pueden cumplir su función porque cuentan con el apoyo de una estructura tan versátil como es la glia. La glia es parte intrínseca en la función del sistema nervioso. Así, cuando busquemos a los responsables de nuestros aciertos o nuestros errores, es decir, a nuestras neuronas, no olvidemos que también debemos pensar en esos otros 'trabajadores' del cerebro.

J. Padial (Alumno de 5º de Biología).

ECOLOGÍA

BIOTURBACIÓN EN LA INTERFASE SEDIMENTO-AGUA: ¿EUTROFIZACIÓN?

Los sedimentos se pueden considerar, conceptualmente, formados por dos capas. Una de ellas, la más superficial, con una profundidad aproximada de 15-20 cm donde ocurren los procesos activos, aeróbicos o anaeróbicos, de degradación de la materia orgánica y se regulan los procesos de intercambio sedimento-agua, siendo en esta zona donde se observan los gradientes más acusados de nutrientes. La otra, más profunda, es donde tiene lugar los procesos de diagénesis y la inmovilización permanente, definitiva a escala de tiempo normales, de los componentes esenciales de la biomasa degradada y nutrientes.

La capa más superficial del sedimento está caracterizada por un alto grado de actividad biológica y química mientras que en la más profunda la actividad existente es principalmente de carácter químico y se encuentra muy aislada de la capa de agua sobre el sedimento y poco influenciada por ella. La zona de contacto entre la parte más profunda de la columna de agua que hay sobre el sedimento y la capa de éste que se encuentra en contacto con ella es la llamada interfase sedimento-agua. Es

precisamente en esta interfase donde se regulan los flujos biogeoquímicos que entre las dos partes se generan, siendo la interacción de procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos que acontecen a la vez y en la misma zona, los que definen el flujo de sustancias disueltas entre el sedimento y el agua.

En sistemas donde la capa de agua no es muy profunda o es de persistencia periódica, el reciclado de nutrientes por el sedimento influye de modo notable en el mantenimiento de la tasa de producción, que acostumbra a ser alta. Hasta un 40% de los requerimientos de estos nutrientes por parte de los productores primarios procede del transporte desde el sedimento. Y es en este transporte de sustancias disueltas donde influye de modo importante la actividad de los organismos que habitan en el sedimento, conociéndose este fenómeno con el nombre de bioturbación. Especialmente importante es la actividad de algunos macroinvertebrados que forman parte de la fauna del sedimento, por ejemplo los poliquetos, debido sobre todo a la movilidad de los mismos. Así, se apunta que el hecho de cavar galerías y el tránsito

por ellas posibilita una recirculación de agua y oxígeno, con consecuencias inmediatas en los cambios de las condiciones redox del sedimento. A su vez, estas galerías se encuentran colonizadas por bacterias que utilizan algunos de estos nutrientes esenciales (p.e., fósforo) como fuente de energía, y además el propio metabolismo bacteriano también cambia las condiciones redox del sedimento, influyendo por tanto en los procesos de solubilización/insolubilización de los nutrientes.

Centrándonos en la influencia que la bioturbación tiene sobre el carbono, nitrógeno y fósforo (nitrógeno y fósforo son limitantes para la producción primaria, el carbono excepcionalmente), en experimentos realizados con distintas especies de poliquetos (*Nephtys spp.*, *Nereis virens* y *Nereis diversicolor*) y abundancias, se ha constatado lo siguiente:

1) Existe una disminución del flujo de fosfato desde el sedimento al agua conforme aumenta la abundancia de estos organismos [Clavero et al., *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 33, 193 (1991)].

2) La relación C/N en el sedimento se incrementa con la abundancia, indicando que los detritus con alto contenido en nitrógeno han sido mineralizados [Kristensen et al., *J. Mar. Res.*, 49, 355 (1991)] y transportados al agua.

3) Es patente la acumulación de carbono [Hansen y Blackburn, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 102, 33 (1992)] y fósforo insoluble [Clavero et al., *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 176, 257 (1994)] en el sedimento.

Además de lo anteriormente citado, los balances de los tres elementos (C, N, y P), muestran cómo hay una tasa neta de acumulación de carbono y fósforo en el sedimento y pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera. A modo de ejemplo, en el estuario del Río Palmones (Algeciras), con abundancias de *Nereis diversicolor* hasta 900 m⁻², las tasas de acumulación de carbono y fósforo en el sedimento son 140 y 0.14 mg m⁻² año⁻¹, respectivamente y la de pérdida de nitrógeno se ha estimado en 10 mg m⁻² año⁻¹. Si se tiene en cuenta que la eutrofización es un estado de detención que acelera los ciclos, evacuando nitrógeno hacia la atmósfera y carbono y fósforo hacia el sedimento, resulta evidente que, entre otros, uno de los efectos más importantes de la bioturbación en sistemas donde la capa de agua es poco profunda es, precisamente, el de acelerar estos ciclos y, en consecuencia, contribuir a la eutrofización del medio.

V. Clavero (Profesor Asociado de Ecología).

NOTICIAS

Las prisas de los alumnos de Linneo y el origen del sistema binomial

El sistema binomial de nomenclatura de los seres vivos consiste en la utilización de dos palabras en latín, la correspondiente al género y la que caracteriza a la especie. Por este motivo somos *Homo sapiens*, nuestro perro es *Canis familiaris* y en verano nos atacan molestos especímenes de *Culex pipiens*. Esta fórmula, que a veces es objeto de mofa, la debemos a Carl von Linneo (1707-1778), médico y botánico sueco y autor del sistema formal de clasificación vigente en todo el mundo.

Antes de Linneo, cada especie animal o vegetal se nombraba mediante una larga letanía de palabras que describían sus características. Por ejemplo, la menta verde era conocida como *Mentha floribus spicatis, foliis oblongis serratis*, o sea, menta con flores en espiga y hojas oblongas y aserradas. Linneo decidió que bastaba con dos nombres, *Mentha*, común a todas las mentas, y *spicata*, específico de esa especie concreta. Linneo propuso esta idea por primera vez en 1751, en su manual *Philosophia botanica*, y la aplicó dos años más tarde en un catálogo de plantas denominado *Species plantarum*. ¿Cómo se le ocurrió esta sencilla y práctica forma de nombrar a las especies?

Lisbet Koerner, una historiadora de la ciencia de la Universidad de Harvard, parece haber dado con la respuesta a esta pregunta [comentario en *Science*, 266, 969 (1994)]. En un libro que aparecerá muy pronto, titulado *Cultures of Natural History*, Koerner recoge los resultados de su tesis doctoral, realizada en los archivos de la Sociedad Linneana de Londres. En un artículo poco conocido, Linneo describió un proyecto realizado en 1749 junto a sus alumnos de la Universidad de Uppsala. Se trataba de realizar un catálogo de las plantas que servían de alimento para los animales de granja. Para elaborar este catálogo, Linneo asignó a cada estudiante un animal (una cabra, una vaca, un caballo). Luego les encargó que, provistos de plumas de ganso, frascos de tinta y pliegos de papel, persiguieran a su animal por las praderas durante todo el día, identificando y anotando las plantas consumidas. En esas condiciones debía ser muy difícil escribir la larga serie de nombres de cada planta, y sobre la marcha fue necesario desarrollar una nomenclatura abreviada, una especie de "taquigra-

fía" que permitiera escribir el nombre de cada planta a la misma velocidad en que era engullida por el semoviente. La solución: utilizar sólo dos palabras, una genérica, otra específica. Las ventajas del nuevo sistema debieron ser patentes para Linneo, que las incorporó a su obra muy poco tiempo después. Y hasta hoy perdura.

¿Para qué agita la serpiente su cascabel?

Las películas del Oeste nos han familiarizado con las serpientes de cascabel, que tienen la amabilidad de avisar al vaquero bueno de su peligrosa presencia al agitar los anillos córneos de su cola. Esto no parece suponer mucha ventaja a la serpiente, que suele acabar siendo blanco de los certeros disparos del protagonista. Hablando en serio, es evidente que el sonido del cascabel sirve para evitar que la serpiente sea pisoteada. De esta forma la serpiente evita la lucha y ahorra su veneno para la captura de presas. Sin embargo, no está claro que esta sea su única función, ni siquiera su función original. De hecho, las jóvenes serpientes no son capaces de producir sonidos, como tampoco lo son algunas especies de serpientes de cascabel de pequeño tamaño.

Dos naturalistas norteamericanos acaban de demostrar experimentalmente que los cascabeles de las serpientes, cuando se agitan en el aire, producen cargas electrostáticas [Vonstille y Stille, *Nature*, 370, 184 (1994)]. Para ello unieron el cascabel de una serpiente a un hilo conductor conectado a un voltímetro, y lo agitaron mediante un soporte aislante. Cuando el cascabel vibra a 60 Herzios produce una carga estática positiva comprendida entre 75 y 100 voltios.

¿Que efecto tiene esta carga sobre la serpiente y cuál puede ser su función? Lo que parece claro es que la piel de la serpiente, córnea, lisa y seca, debe disipar mal esta carga hacia el ambiente. Lo contrario nos sucede a nosotros, y a los mamíferos en general. Aunque también adquirimos carga eléctrica por fricción con el aire y los objetos, la perdemos gracias a los múltiples puntos de descarga que proporcionan los pelos y al alto grado de conductividad que proporcionan las glándulas sudoríparas. No ocurre lo mismo con nuestros coches, que adquieren una carga elevada por fricción cuando el aire está seco y nos obsequian con una descarga cuando hacemos de

conductor entre la carrocería y el suelo.

Volvamos a las serpientes de cascabel. Dado que producen carga eléctrica y a que están eléctricamente aisladas del suelo, probablemente acumulan un importante potencial electrostático respecto del ambiente. Según los autores de la investigación citada, es posible que esto se relacione con la forma peculiar en que estas serpientes mueven su lengua. Los reptiles, en general, utilizan la lengua para recoger partículas del ambiente y analizarlas en un quimiorreceptor alojado en el paladar, el órgano de Jacobson, una porción especializada del saco olfatorio. Sin embargo, las serpientes de cascabel parecen evitar el contacto de su lengua con el suelo, lo que tal vez provocaría una descarga eléctrica. En lugar de eso, agitan su lengua rápidamente hacia delante y hacia atrás, por encima de su cabeza. Tal vez, sugieren los biólogos americanos, de esta forma sean capaces de detectar diferencias de carga eléctrica en el medio ambiente, por ejemplo las relacionadas con la humedad que exhalan la respiración y el sudor de los mamíferos.

Próximos Seminarios de Biología y Biomedicina

15 Febrero: Aplicación de los anticuerpos monoclonales al estudio de una glándula cerebral (el órgano subcomisural) (Juan Pérez).

1 Marzo: Circuitos básicos de la memoria (Salvador Guirado).

Tendrán lugar en el aula B-4 de la Facultad de Ciencias a las 17:30 horas.

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS Y EL CONTEXTO.

Con demasiada frecuencia se suele considerar que el aprendizaje de las ciencias es algo que se produce en el marco bien delimitado del aula, como resultado de procesos originados a partir de acciones específicamente diseñadas con propósitos de enseñanza.

Diferentes aportaciones en el marco de la psicología cognitiva vienen concediendo importancia creciente al conocimiento que los estudiantes generan fuera de la institución escolar. En lo que al aprendizaje de las ciencias se refiere, desde muy jóvenes, y, como fruto de su interacción con los fenómenos en su vida diaria, los niños desarrollan sus propios significados, muchas veces distintos a los de los científicos, y que deberemos tener en cuenta en la enseñanza escolar, si pretendemos que arraigue en los alumnos el conocimiento científico.

Numerosas investigaciones (Pfundt y Duit 1994) ponen de manifiesto un alto grado de arraigo del conocimiento generado en situaciones de la vida diaria en relación a los fenómenos que la ciencia estudia. Cuando los alumnos responden "con sus propias palabras" a cuestiones, sobre su comprensión de determinados conceptos, recurren a "ideas alternativas", y, en mucha menor medida, a aprendizajes académicos anteriores.

Por otra parte, Slough y Driver (1986), en investigaciones sobre la consistencia con que los alumnos utilizan sus "ideas alternativas", en relación a determinados conceptos, encuentran que el uso de unas u otras ideas aparece ligado al caso concreto planteado en cada pregunta. Sus resultados ponen de manifiesto que los conocimientos cotidianos y científicos coexisten en la mente de los alumnos y que el uso, que hacen de ellos, guarda relación con el contexto en que el fenómeno se presenta.

Joan Solomon (1987), pionera en el estudio del conocimiento científico de los alumnos, generado dentro y fuera de la escuela, insiste en la necesidad de diferenciar dos grandes contextos de aprendizaje de las ciencias: el contexto escolar y el contexto de la vida diaria, y dedica gran atención a caracterizar el tipo de conocimiento que se adquiere en cada uno de ellos. Para ella, la existencia de estos dos dominios de conocimiento explica la persistencia de muchas ideas

alternativas.

La diferente persistencia de las ideas de los alumnos, según que su formación esté más o menos ligada a la experiencia personal, indicada por Clough y Driver (1986) y su incidencia en el aprendizaje en el aula, ponen de manifiesto la necesidad de entrar en el estudio de los detalles de cada uno de esos "macrocontextos", a fin de identificar posibles y diferentes "situaciones potenciales de aprendizaje", en cada uno de ellos.

Una aproximación analítica al contexto de la vida diaria permite distinguir varios dominios que, según criterios de generalidad creciente, serían los siguientes:

a) El dominio de mayor proximidad física al alumno estaría constituido por la interacción con los fenómenos a través de acciones habituales tales como: nutrición, respiración, fuerzas y movimientos, aceleración, disolución, electricidad, calor y temperatura, etc. Tanto la naturaleza de estas interacciones como las ideas que a ellas se deben, parecen, a juicio de Driver y al. (1994), independientes del lugar del planeta en que tengan lugar.

b) La interacción del niño con sus iguales (compañeros y amigos) da lugar a que compartan significados y al desarrollo de determinados códigos en el uso del lenguaje.

c) Todavía, dentro de la esfera cercana al niño y de sus experiencias, se encuentran ciertas fuentes de conocimiento científico llamadas "informales", tales como: museos, zoos, películas y literatura divulgativa, medios de comunicación, etc., cuya contribución al aprendizaje de las ciencias es lo suficientemente relevante como para hacer necesario su estudio en profundidad.

d) El contexto social inmediato al niño, cuyas variables son reconocidas por muchos autores como de gran influencia en el aprendizaje. Entre ellas se encuentran: la situación socioeconómica de los padres, su profesión, la ayuda que prestan al niño en sus tareas, la valoración de la ciencia, etc.

e) El contexto cultural, que configura una serie de creencias, usos, suposiciones, actitudes, y pautas de reacción y de conducta, que no suelen ser cuestionadas por los individuos que a él pertenece

cen, cuando pertenecemos a una sociedad unicultural, pero que tienen una gran influencia en lo que ocurre en el aula de ciencias cuando en la sociedad conviven diferentes culturas.

Si la vida diaria es algo previo al aprendizaje escolar, es evidente que la información adquirida por vía extraescolar sobre gran cantidad de conceptos va a estar ahí cuando estos se trabajen en la escuela. Por otra parte, un objetivo fundamental de los currícula de ciencias es promover el desarrollo de un conocimiento científico útil para la vida diaria y la sociedad. Se alumbraba pues una cuestión de capital importancia en la enseñanza de las ciencias: la de la transferencia de conocimientos de uno a otro dominio, teniendo en cuenta la estrecha relación entre lo que se ha aprendido y el contexto de aprendizaje.

Si tenemos en cuenta las consideraciones anteriores, junto con la propuesta de Black y Simon (1992), de intentar localizar puntos en el mundo de los niños y el mundo de los científicos, a través de los cuales poder tender puentes, en el diseño de materiales curriculares y en la elección de estrategias de aprendizaje, contribuiremos a dar un paso adelante en la configuración de un contexto escolar más adecuado para el aprendizaje que queremos conseguir. A la investigación en enseñanza de las ciencias corresponde avanzar en este largo camino, pero no deberá alejarse de la práctica de los profesores si, realmente, pretende mejorar la enseñanza.

E. España y T. Prieto (Profesor de Enseñanza Secundaria y Profesora Titular de Didáctica de las Ciencias Experimentales, respectivamente).

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