

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.

BIOLOGÍA VEGETAL

CUTÍCULA VEGETAL Y CONTAMINACIÓN MEDIOAMBIENTAL

La cutina es el biopolímero de naturaleza lipídica que constituye el almacén protector que cubre las superficies externas de las plantas superiores. Está perfectamente determinado que la cutina es el principal componente de la membrana cuticular o cutícula, la cual se presenta como una fina y continua capa extracelular en la superficie de las células epidérmicas de hojas y frutos. La cutina es un poliéster de elevado grado de entrecruzamiento constituido por ácidos grasos hidroxilados de cadena larga (principalmente C₁₆ y C₁₈) y, asociado con ceras de composición variable y probablemente algunos componentes de naturaleza fenólica; constituye una auténtica barrera protectora frente a la excesiva pérdida de agua, radiación ultravioleta e invasión de la planta por patógenos.

La membrana cuticular actúa como la interfase entre la célula vegetal y el medio externo. Es, por tanto, clave el papel que representa en la potencial degradación de determinados ecosistemas debido al problema de la denominada lluvia ácida y contaminación medioambiental. La investigación sobre este complejo tema tomando a la cutícula vegetal como objetivo directo de trabajo ha sido hasta este momento escasa y, como se verá más adelante, con una metodología y fines muy variables.

Las plantas pueden acumular contaminantes de muy diversa naturaleza después de su deposición en el suelo a través de las raíces o a partir de la adsorción foliar de dichos contaminantes desde la atmósfera. Si consideramos que la superficie foliar de plantas herbáceas y leñosas es unas 20 veces mayor que la correspondiente área del suelo sobre el cual se desarrollan y que la

cantidad cuticular en bosques y otras comunidades agrícolas varían entre 180 y 1500 kg/ha [Sabljic *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 24, 1321 (1990)], la importancia de la membrana cuticular vegetal queda claramente marcada.

Según las conclusiones formuladas en el congreso sobre *Air pollutants and the leaf cuticle* [NATO ASI series, vol. 36, 1994] celebrado el año pasado en Fredericton (Canadá), es preciso definir claramente las características a nivel cuticular que han de usarse para la detección y cuantificación del impacto que la contaminación ambiental ejerce sobre la interfase planta/atmósfera. Estas son: la morfología y características de las ceras epicuticulares (erosión, parámetros cristalinidad, propiedades físicas tales como el punto de fusión), las propiedades de mojado de la superficie cuticular (ángulo de contacto de gotas) y la cuantificación del conjunto total de ceras epi e intracuticulares. Por otro lado, es preciso considerar la localización exacta de las interacciones que se producen entre los contaminantes atmosféricos, en disolución acuosa, y la superficie foliar. Así, se puede considerar que coexisten tres fases simultáneamente en la zona inmediatamente próxima a la superficie de una hoja: una fase líquida que corresponde a la capa de agua que moja la superficie externa y al agua unida a grupos polares de la cutina o formando *clusters* dentro de la ultraestructura

cuticular; una segunda fase, de naturaleza lipídica, determinada por las ceras cuticulares y por la cutina, y una tercera fase gaseosa localizada a nivel de la región próxima a la superficie cuticular (*boundary layer*). Los compuestos químicos, gases en su mayoría, que interactuarán a este nivel son variados, pudiéndose ser divididos entre los denominados compuestos antropogénicos (SO₂, O₃, NO_x, CFC, CO₂), biogénicos (CO₂, H₂O, C₂H₂, isopreno, -pineno) o compuestos originados como consecuencia de la reducción biológica de algunos contaminantes: H₂S a partir de SO₂ y NH₃ a partir de NO_x.

La fase líquida comentada anteriormente puede actuar como una especie de "fregadero" de muchos contaminantes solubles en agua, pero la formación de nuevos compuestos puede tener lugar también en esta fase. Así, se ha descrito la formación de sulfato amónico a partir de NH₃ y SO₂, la formación de peróxido de hidrógeno a partir de ozono y agua, la formación de ácidos (sulfúrico, nítrico) y de radicales hidroxilo. Es preciso apuntar que el papel concreto en esta fase líquida de diversos iones procedentes del interior celular está aún por determinar.

La fase lipídica actúa como un sumidero de microcontaminantes de naturaleza orgánica. Estos son acumulados, principalmente, en las ceras epicuticulares. Se han descrito reacciones del ácido sulfúrico formado en la fase líquida con los grupos hidroxilo de los alcoholes primarios y secundarios de cadena larga que están presentes en las cutículas de muchas especies, especialmente gimnospermas. El resultado final conduce a la formación de compuestos sulfonados de propiedades análogas a

| | |
|--|---|
| <i>Cutícula vegetal y contaminación medioambiental</i> | 1 |
| <i>Glutamato y muerte neuronal excitotóxica</i> | 2 |
| <i>El Mediterráneo en el Plioceno, ¿un mar tropical?</i> | 3 |
| <i>La floración: algo tan hermoso y tan complejo</i> | 5 |
| <i>Nuevas alternativas en el diseño de herbicidas</i> | 5 |
| <i>Noticias</i> | 6 |
| <i>Diversidad. El ámbito científico-tecnológico de la diversificación curricular</i> | 7 |

detergentes iónicos. Adicionalmente, se han descrito reacciones del ozono con hidrocarburos saturados e insaturados de cadena larga de las ceras epicuticulares. Por otro lado, a nivel de la cutina, ha sido descrita la acumulación de NO_x en determinados compuestos fenólicos de la misma. Esta acumulación en la matriz cuticular es irreversible e implica una auténtica nitración de la membrana cuticular.

Por último, las interacciones y reacciones que se presentan en la denominada fase gaseosa son muy heterogéneas. En esta fase ha sido observada la formación de oxidantes fuertes a partir de reacciones entre NO_2 y O_3 , catalizadas por radiación UV, y la presencia de compuestos insaturados. Puede ocurrir, además, la formación de diversos radicales oxidantes por reacción del ozono en agua y la formación de formaldehído y peróxido

de hidrógeno a partir del ozono y del etileno producido por la planta en situaciones de estrés.

Como conclusión debe quedar claro que determinadas características de la superficie foliar son modificadas por contaminantes atmosféricos y que la presencia de determinados compuestos incrementa la posible formación de productos de distinta naturaleza y más reactivos. Es deseable, en el futuro próximo, el uso e investigación de características a nivel cuticular más sofisticadas y de nuevas técnicas de trabajo para una más sensible detección y conocimiento del modo de acción de los contaminantes antropogénicos.

A. Heredia y P. Luque (Profesor Titular de Bioquímica y Becaria de Investigación, respectivamente).

teínas G y modulan la liberación de calcio a partir de depósitos intracelulares (ver figura)

En condiciones 'normales' el glutamato liberado en las sinapsis por la actividad de las neuronas excitadoras es eliminado rápidamente del espacio extracelular, fundamentalmente por la recaptación por los propios terminales presinápticos y por las células de la glia, lo que limita la actuación de este aminoácido sobre la neurona postsináptica. Sin embargo, en determinadas condiciones patológicas del sistema nervioso se produce una acumulación tóxica de glutamato en el espacio extracelular cerebral debida, probablemente, a un fallo en la captación de glutamato por parte de las neuronas y la glia.

Las propiedades neurotóxicas del glutamato fueron apreciadas por primera vez a finales de los años 60, cuando Olney observó que la administración por vía parenteral de glutamato producía una degeneración masiva en determinados núcleos hipotalámicos y otras regiones cerebrales que no poseían barrera hemato-encefálica. Más tarde, Olney y sus colegas demostraron que la inyección directa de glutamato (o sus análogos) en el cerebro producía daños dramáticos de los cuerpos celulares y las dendritas de las neuronas, no afectando prácticamente a los axones ni a la glia circundante. Como ya se conocía el papel fisiológico excitador del glutamato,

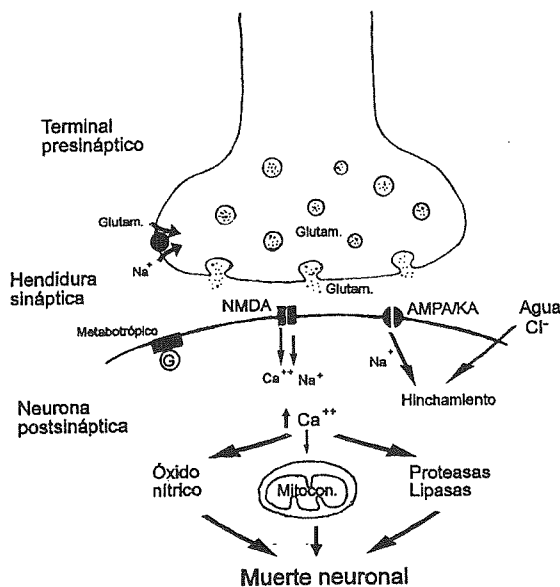
Olney llamó a este fenómeno 'excitotoxicidad'. Al principio, no se prestó demasiada atención al descubrimiento de Olney y sus colaboradores sobre la relación entre el glutamato y la neurotoxicidad. Sin embargo, la producción de neurotoxicidad en primates jóvenes tras la administración oral de grandes cantidades de glutamato, hizo resurgir los trabajos de Olney y planteó serias dudas sobre la práctica, común por aquella época en los Estados Unidos, de añadir glutamato a los alimentos infantiles como 'potenciador del sabor' (finalmente se

BIOLOGÍA CELULAR

GLUTAMATO Y MUERTE NEURONAL EXCITOTÓXICA

Hablar de glutamato en el ámbito del sistema nervioso es como hablar de excitación, ya que este aminoácido es el principal neurotransmisor excitador en el sistema nervioso central de vertebrados. Su acción como transmisor está mediada por diferentes tipos de receptores, denominados comúnmente con las siglas de los análogos sintéticos que se unen selectivamente a ellos y los activan: **AMPA** (α -amino-3-hidroxi-5-metil-5-isoxazolepropionato), **KA** (ácido kaínico) y **NMDA** (N-metil-D-aspartato). La acción específica del glutamato sobre la neurona postsináptica depende del receptor al que se una. Así, la unión del glutamato a los receptores **AMPA/KA** provoca la apertura de canales para el ion sodio, el cual entra en la neurona siguiendo un gradiente electroquímico y produce una despolarización de la membrana postsináptica. Esta acción del glutamato sobre los receptores **AMPA/KA** es muy rápida y de corta duración, debido a que el tiempo que permanece el neurotransmisor en la hendidura sináptica (estrecho espacio extracelular que queda entre el botón presináptico y la membrana postsináptica) es extraordinariamente breve (del orden de milisegundos) y también debido a que el receptor se desensibiliza en cuestión de

milisegundos. El glutamato también puede unirse a los receptores **NMDA** produciendo una acción más lenta sobre la neurona postsináptica. Una propiedad especial del receptor **NMDA** es que su activación provoca la apertura de canales que son muy permeables al ion calcio (además de al sodio), con lo cual entran en la neurona postsináptica cantidades relativamente grandes de calcio a través de esta vía. Además de a estos receptores, el glutamato puede activar a receptores **metabotrópicos** (denominados así, en contraposición a los anteriores o ionotrópicos, porque tienen una acción metabólica en vez de iónica directa). Estos receptores están acoplados a pro-



teínas G y modulan la liberación de calcio a partir de depósitos intracelulares (ver figura)

eliminaría el glutamato de los alimentos infantiles, aunque todavía persiste en otros preparados alimenticios).

¿Cómo produce el glutamato la neurotoxicidad? Al principio se pensaba que esta sustancia podía dañar a las neuronas mediante algún tipo de interacción metabólica (recordemos que el glutamato es un metabolito normal en rutas metabólicas intracelulares), aunque ahora parece claro que la toxicidad del glutamato está más relacionada con su acción fisiológica excitadora y que es un mecanismo mediado por receptor. La conexión más obvia entre los aminoácidos excitadores y el daño neuronal es la despolarización (causada por la entrada de iones sodio a través de los canales acoplados a los receptores), aunque hay pocas evidencias de que la despolarización, *per se*, dañe a las neuronas. Sin embargo, la despolarización altera el gradiente electroquímico para los iones cloro, favoreciendo su entrada dentro de las neuronas. Esto crea un desequilibrio osmótico que hace que entre agua en las neuronas, produciendo un edema celular (ver figura). Aunque inicialmente se pensó que esto era el principal factor responsable de la muerte neuronal, actualmente parece claro que las neuronas, al menos en cultivo, toleran la hinchazón durante muchas horas sin morir (este efecto, sin embargo, podría jugar un papel importante *in vivo*, donde el edema podría comprometer el riego sanguíneo y aumentar el daño).

Un factor crítico para iniciar los eventos que conducen a la muerte celular es la entrada de calcio desde el espacio extracelular, siguiendo un gradiente electroquímico (aunque no 'todo' el calcio que entra en la neurona es igualmente perjudicial, algo difícil de comprender). La fuente más 'dañina' de calcio para la mayoría de las neuronas en el sistema nervioso central es la apertura de los canales asociados al receptor NMDA, cuando éste es activado. Una explicación parcial para esta observación es la relativamente alta permeabilidad para el calcio del canal NMDA (al contrario que los canales AMPA/K_A, el canal NMDA tiene una permeabilidad superior para el calcio que para el sodio). Sin embargo, ésta no es la explicación completa ya que otros aminoácidos excitadores pueden abrir canales de calcio, produciendo elevaciones del calcio intracelular equivalentes a las producidas por el glutamato y los receptores NMDA. Por tanto, el calcio que entra en las neuronas a través de los canales NMDA debe tener acceso selectivo a algunos compartimentos especialmente sensibles a sus efectos tóxicos.

Una vez establecida la conexión entre las elevaciones patológicas del calcio y la desintegración celular, el problema estriba en determinar qué mecanismo o mecanismos, activados por el calcio, podrían dañar las neuronas. Lo más razonable sería pensar que no existe un único mecanismo, sino más bien una serie de vías, actuando en serie o en paralelo, que podrían interaccionar para lesionar a las neuronas. La magnitud de la contribución de cualquiera de estos mecanismos podría estar influenciada por múltiples factores incluyendo el tipo de neurona, la edad, la duración de la exposición al glutamato y la reserva metabólica. Algunos de los principales procesos activados por el calcio que podrían participar en el daño excitotóxico serían los siguientes:

1) *Proteasas*. Hay fundadas evidencias de que un grupo de proteasas activadas por el calcio, las calpainas, pueden degradar los neurofilamentos (que son responsables del mantenimiento de la integridad del citoesqueleto neuronal). Parece lógico pensar que la activación patológica de estas enzimas iría en detrimento de la viabilidad de las neuronas.

2) *Fosfolipasas*. La estabilidad neuronal requiere que la bicapa lipídica permanezca intacta. Una pequeña remodelación y reparación de la membrana es necesaria para la competencia neuronal, pero una amplia destrucción de la membrana podría amenazar la viabilidad de la célula. Varias fosfolipasas que degradan fosfolípidos de membrana son activados por elevaciones del calcio intracelular. Tanto la propia degeneración de la membrana como sus productos resultantes, los cuales incluyen ácido araquidónico y leucotrienos, pueden tener efectos dañinos sobre las neuronas.

3) *Óxido nítrico*. El óxido nítrico se sintetiza en muchos órganos, incluyendo el cerebro, por una enzima dependiente de calcio, la sintasa del óxido nítrico. Algunos investigadores han mostrado que la inhibición de esta enzima puede proteger a las neuronas de la toxicidad del glutamato y NMDA. Éstos sugieren que el óxido nítrico producido en algunas neuronas difundiría hacia otras neuronas vulnerables, matándolas. El panorama en este caso es más complicado, ya que recientemente se han descrito dos especies diferentes de óxido nítrico, una que contribuiría al daño neuronal, mientras que la otra tendría un papel protector al bloquear el receptor NMDA.

4) *Daño mitocondrial*. La entrada de calcio incrementa la actividad de algunas enzimas mitocondriales, incluyendo el complejo piruvato deshidrogenasa. Actualmente hay evidencias de que la exposición a concentraciones excesivamente altas de calcio colapsa el potencial de membrana mitocondrial, lo cual podría tener un papel en la muerte excitotóxica.

Las condiciones clínicas agudas asociadas más estrechamente con la excitotoxicidad son la isquemia/hipoxia y el ataque cerebral. En tales condiciones hay un fallo en la eliminación del glutamato extracelular, el cual se acumula de forma tóxica. La administración de fármacos antagonistas del glutamato puede atenuar los daños neuronales producidos tras el ataque, y así minimizar el daño, pero hay pocas oportunidades de intervenir de forma preventiva, ya que la utilización de tales antagonistas podría interferir de forma significativa con la neurotransmisión excitadora normal.

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

PALEONTOLOGÍA

EL MEDITERRÁNEO EN EL PLIOCENO, ¿UN MAR TROPICAL?

El *Mare Nostrum* ha sido, desde tiempos históricos, una importante vía de comunicación y comercio de bienes e ideas entre los pueblos diseminados por su rivera. Por su tamaño, se puede considerar como un océano a escala humana, de aguas azules y raramente embravecidas. Desde un punto de vista oceanográfico, se trata de un mar oligotrófico, cuyo balance hídrico resulta negativo, pues las pérdidas por evapora-

ción rebasan ampliamente las ganancias por precipitaciones y aportes fluviales, de forma tal que sin la compensación que supone la entrada de aguas atlánticas por el estrecho de Gibraltar se ha calculado que esta cuenca se desecaría en tan sólo 1.500 años. Las aguas del Mediterráneo están bien oxigenadas, su salinidad oscila en torno al 38,5‰, la temperatura de sus capas profundas se encuentra relativamente constante en

torno a 13°C y la de las aguas superficiales varía entre los 13°C de invierno y los 26°C de verano. Ahora bien, todo un conjunto de evidencias paleontológicas sugieren que durante el Plioceno -período del tiempo geológico que comprende entre hace 5,1 y 1,65 millones de años- las aguas del Mediterráneo pudieron ser sustancialmente más cálidas que en la actualidad.

Tales evidencias proceden del estudio de los moluscos preservados en los sedimentos del Plioceno marino de la región comprendida entre San Pedro de Alcántara y Estepona, en la parte occidental de la provincia de Málaga. Estos sedimentos afloran en una franja relativamente continua a lo largo de la costa del mar de Alborán, interrumpidos únicamente por los depósitos fluviales cuaternarios, más recientes. Su composición varía desde arenas gruesas y conglomerados, para los afloramientos más someros, situados próximos a la línea de costas pliocena, hasta arenas finas, limos y arcillas en los correspondientes a los ambientes más distales y profundos. En los primeros la fauna suele aparecer transportada, mostrando selección por tamaños, rotura y desgaste en las conchas, mientras que en los segundos el estado de conservación es excelente, encontrándose los lamelibranquios por lo general con ambas valvas articuladas y, a menudo, mostrando posiciones vitales, abundando los equínidos con las placas y espinas articuladas, lo que evidencia un enterramiento muy rápido en el sedimento, y los gasterópodos presentando todos los detalles de la escultura y, en muchos casos, la coloración original de la concha.

El estudio sistemático de esta malacofauna fósil ha mostrado la existencia de aproximadamente 810 especies, de las cuales sólo 247 han pervivido hasta la actualidad en el mar de Alborán (271 para todo el Mediterráneo). Destacan particularmente las de una serie de familias de gasterópodos, como Ficidae, Terebridae, Olividae, Amathinidae, Conidae, Cypraeidae, Fasciolaridae, Mitridae y Turridae. Las especies pertenecientes a las cuatro primeras familias ya no habitan en el Mediterráneo, restringiéndose su distribución actual a las regiones tropicales de los océanos Atlántico, principalmente, Índico y Pacífico; las restantes se encuentran representadas por formas escasas, en general de talla reducida (por ejemplo, se han encontrado 30 especies de conos frente a las 2 actuales). Respecto a los bivalvos, en el Plioceno se encuentran tres familias de ámbito tropical, ausentes hoy en día del Mediterráneo: Isognomonidae,

Plicatulidae y Myidae. Entre los escafópodos cabe resaltar a la familia Gadilinae, también de aguas tropicales. La presencia de estos elementos faunísticos sugiere, en principio, unas condiciones paleoceanográficas bastante más cálidas para las aguas del Mediterráneo durante el Plioceno que las actualmente presentes. Esta hipótesis se encuentra, además, reforzada por el hallazgo de una fauna bien diversificada de corales, entre los que abundan las formas solitarias como los flaveliformes, también ausentes hoy en día del Mediterráneo y restringidos a las zonas tropicales.

No obstante, cabe una interpretación alternativa para la presencia de faunas tropicales en el Mediterráneo durante el Plioceno, la cual no implica necesariamente la existencia de paleotemperaturas más elevadas para sus aguas. Hoy en día hay un único estrecho separando el mar Mediterráneo del océano Atlántico, de dimensiones reducidas pero extraordinariamente eficiente en la transferencia de las masas de agua, de forma tal que por superficie entran las aguas atlánticas frías y poco salinas, mientras que en profundidad salen las mediterráneas, cargadas de sales al estar sometidas a los efectos de la evaporación desde su origen en la cuenca oriental. Ahora bien, durante el Mioceno superior -período de tiempo inmediatamente anterior al que nos ocupa- existieron dos pasajes de comunicación entre el Paleomediterráneo y el Atlántico, uno de salida de agua, situado al sur de España -el corredor bético- y otro de entrada, en el norte de Marruecos -el corredor rifeño-. Ambos eran de tamaño considerablemente mayor que el actual de Gibraltar y se cerraron por la actividad tectónica experimentada en la microplaca de Alborán, como consecuencia de la colisión de las placas europea y africana. El resultado de la desconexión de ambas cuencas fue que la intensa evaporación condujo a la desecación parcial del Mediterráneo y la precipitación de abundantes rocas evaporíticas, en lo que se conoce como crisis de salinidad del Messinense, con la que finaliza el Mioceno.

La existencia de este dispositivo en el Mioceno implica que los patrones de circulación oceánica eran diferentes, pues actualmente las aguas frías que entran al Mediterráneo proceden de la corriente descendente de las Canarias, mientras que en el Mioceno, al encontrarse el canal de entrada en el corredor rifeño, situado a una latitud inferior, ello posibilitaría el ascenso y entrada de aguas cálidas, en cuyo seno viajarían las larvas de especies tropicales, pudiendo invadir

el Mediterráneo; a este respecto conviene precisar que se han localizado en este corredor abundantes formaciones arrecifales de edad tortoniense. Posteriormente, al cerrarse estos pasajes y constituirse la conexión actual mediante el estrecho de Gibraltar, esta vía de dispersión para las faunas exóticas quedaría obliterada. De esta manera, cuando se extinguieron localmente tales especies en el Mediterráneo durante el transcurso de las glaciaciones del Pleistoceno, su recolonización posterior de esta cuenca ya no fue posible.

Con vistas a decidir entre ambos escenarios, en un futuro inmediato se pretende efectuar un análisis de la composición en isótopos de oxígeno en las conchas de diversas especies de gasterópodos y lamelibranquios presentes en el Mediterráneo tanto en el Plioceno como en la actualidad. El fundamento de esta metodología es el siguiente: cuando disminuye la temperatura -por ejemplo, al producirse una glaciación- el agua se incorpora a los casquetes glaciares, con lo que desciende el nivel del mar, produciéndose una incorporación más rápida de aquellas moléculas que portan el isótopo normal ^{16}O , más ligero; como consecuencia, el agua del mar se enriquece en el isótopo pesado ^{18}O y entonces la proporción [$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$] aumenta -de igual manera, en una etapa más cálida esta relación isotópica disminuye-. De acuerdo con las predicciones de la hipótesis sobre un Mediterráneo tropical, las proporciones de isótopos correspondientes a las especies pliocenas habrían de ser inferiores a las mostradas por las especies actuales; en la hipótesis alternativa sobre un mar con temperaturas similares a las actuales, tales proporciones no deberían diferir significativamente.

P. Palmqvist (Profesor Titular de Paleontología)
M.C. Lozano y J.L. Vera (Doctorandos en Paleontología)

FISIOLOGÍA VEGETAL

LA FLORACIÓN : ALGO TAN HERMOSO Y TAN COMPLEJO

Una de las señales ambientales moduladoras de la floración es la luz y concretamente el fotoperiodo. La floración se produce (o es acelerada) en algunas plantas cuando la longitud del día disminuye por debajo de un cierto valor (plantas de día corto) y en otras cuando la longitud del día sobrepasa un determinado valor (plantas de día largo). Para percibir la duración de la luz o de la oscuridad se necesita un sistema para medir el tiempo (reloj) y un fotorreceptor. Aunque la floración es uno de los procesos más investigados en fisiología vegetal, aún se desconoce cómo funciona el reloj, el mecanismo de modulación de los ritmos endógenos y la cadena de amplificación de la señal lumínica desde la fotorrecepción hasta la aparición de las primeras estructuras reproductoras que constituirán la flor. Se ha sugerido la participación del sistema Calcio-Calmodulina [Havelange y Bernier, *Physiol. Plant.* **87**, 353, (1993)] y AMPcíclico [Vicente y Mateos, *Phytochem. Anal.* **3**, 14 (1992)] como segundos mensajeros, es decir como mensajeros químicos producidos tras la captación de la señal lumínica. Estos mensajeros secundarios promueven la fosforilación de ciertos enzimas que a su vez activarían la expresión de genes envueltos en la floración. Se ha propuesto también la acción de fitohormonas que se desplazarían desde hojas (fuente) hasta yemas terminales (sumidero). La naturaleza química de estas fitohormonas que funcionarían como señal química (florigeno) no ha sido aún determinada. Algunos autores han demostrado la participación de giberelinas [Bernier, *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **39**, 175 (1988)], auxinas [Ono et al., *Physiol. Plant* **87**, 1 (1993)] y citoquininas [Lejeune et al., *Physiol. Plant.* **90**, 522 (1994)]. Otras fitohormonas como el ácido abscísico o el etileno no tienen un papel relevante en el proceso floral y en general actúan como sustancias inhibitorias aunque hay excepciones [Bernier, *ibid.*]. La floración es un proceso de una gran complejidad espacio-temporal, ya que intervienen una gran cantidad de sustancias que proceden de otros lugares diferentes al de donde se produce la flor (complejidad espacial) y además, estas sustancias no parecen actuar durante todo el proceso de la floración sino en parte de éste (complejidad temporal). Esta tremenda complejidad ha tratado de ser ordenada y explicada por dos

teorías: (1) Teoría del control multifactorial de la floración postulada por Bernier (1988) y (2) la Teoría de señal eléctrica postulada por Greppin (1987).

La teoría del control multifactorial de la floración nace a partir de la observación de que la inducción fotoperiódica de la floración causa cambios importantes en el contenido y transporte de una gran variedad de sustancias entre las que se encuentran las citadas anteriormente como el calcio y fitohormonas además de otras como carbohidratos y poliaminas. La floración dependerá así de la interacción de diversas sustancias y no de la acción de un sólo florigeno y además, todas las partes de la planta participan en el intercambio de señales, lo cual sugiere la existencia de una estrecha interrelación entre raíz-hoja-yema [Kinet et al., *Environ. Exp. Bot.* **33**: 459 (1993)]. Las poliaminas son una de las sustancias que se investigan desde hace muy pocos años como responsables de parte del proceso de inducción floral. Estas sustancias son compuestos alifáticos de bajo peso molecular y con grupos amino que a pH fisiológico se encuentran protonados. Las poliaminas más comunes son las diaminas putrescina y cadaverina, la triamina espermidina y la tetraamina espermina. Por su naturaleza policatiónica participan en el control de multitud de procesos de crecimiento y del desarrollo vegetal, además, se les ha atribuido un posible papel como segundos mensajeros de muchas respuestas moduladas por luz y fitohormonas. Recientemente se ha demostrado su participación en el control de la floración de soja [Caffaro y Vicente, *Plant Physiol. Biochem.* **32**, 391 (1994)].

La segunda teoría de control de la floración (teoría de la señal eléctrica) se basa en que la detección del estímulo fotoperiódico inductivo de la floración produce alteraciones en la membrana plasmática y que estos cambios se extienden en forma de estímulo electrofisiológico rápidamente a lo largo de la red membranosa que constituye el simplasto en toda la planta. Estas alteraciones de la membrana producen cambios en el flujo iónico celular desencadenándose la transformación observada en las yemas vegetativas que preceden a la transición floral.

Actualmente ninguna de las dos teorías explican en su totalidad el complejo proceso de floración aunque hay evidencias experimentales que avalan a ambas. Probablemente como ha ocurrido a menudo en la ciencia es muy posible que ambas se complementen y que se construya una teoría unificadora donde se explique el control de la floración a través del procesado tanto de señales muy rápidas como cambios en permeabilidad de membrana y de señales más lentas como la síntesis y transporte de las sustancias inductoras o moduladoras de la floración (florigeno). Estas señales químicas rápidas y lentas se producirían tras la percepción de señales ambientales informativas como el fotoperiodo por lo que la transducción de la señal a través de procesos rápidos o lentos no es más que manifestaciones distintas de un mismo sistema de control. Quizás en un tiempo no muy lejano los poetas no sólo se inspirarán en el producto terminado, la flor, relatando sus colores y fragancias sino que extenderán su imaginación al proceso oculto multifactorial y eléctrico de la floración.

F. López Figueroa (Profesor Titular de Ecología).

MICROBIOLOGÍA

NUEVAS ALTERNATIVAS EN EL DISEÑO DE HERBICIDAS

Las naciones del mundo desarrolladas son capaces de producir más alimentos de los necesarios para alimentar a su población. Esta alta productividad es el resultado del uso de fertilizantes y de otros compuestos agroquímicos para el control de malas hierbas, insectos y enfermedades de las cosechas. De las

aproximadamente 300.000 especies de plantas superiores que se conocen, alrededor del 10% son consideradas malas hierbas, pero únicamente 200 de ellas son responsables del 95% de las pérdidas causadas por este problema. El coste es elevado, ya que además de las pérdidas en productividad hay que añá-

dir los costes de los pesticidas y de su aplicación, ya que en la actualidad, el uso de herbicidas supera, con mucho, a la suma de insecticidas y fungicidas. Los pesticidas son un elemento crucial para el mantenimiento de nuestra moderna industria alimentaria; sin embargo, el abuso indiscriminado de los mismos suele provocar con frecuencia graves problemas medioambientales, llegando incluso a amenazar a la salud pública [Hoagland R.E., Ed. *Microbes and Microbial Products as Herbicides*, American Chemical Society, Washington, (1990)].

La mayoría de los herbicidas comerciales han sido descubiertos a través de extensos programas de búsqueda, calculándose que en los últimos 50 años, entre 3 y 5 millones de compuestos han sido analizados. Aunque el lugar concreto de actuación de la mayoría de los herbicidas se desconoce, los principales procesos inhibidos por los herbicidas son la biosíntesis de compuestos esenciales, la fotosíntesis o la división celular [Kishore y Shah, Ann. Rev. Biochem. 57, 627 (1988)]. Aunque se están realizando avances en el control de las malas hierbas, éstas siguen causando importantes pérdidas a la agricultura, así que son necesarias nuevas estrategias de control que reemplacen a las actuales. Este creciente interés en métodos de control alternativos ha traído consigo la necesidad de disponer de herbicidas menos persistentes, más selectivos y de menor impacto ambiental.

En el diseño de nuevos herbicidas la selección del lugar diana del herbicida es el paso más importante, debiéndose de tener en cuenta dos consideraciones principales: *seguridad*, para que la diana no esté presente en animales, especialmente en mamíferos; y *letalidad*. Si analizamos los herbicidas existentes podemos extraer 5 criterios principales para la selección de los lugares diana [Singh, B.K., Flores, H.E. y Shanon, J.C., Eds., *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, Rockville, (1992)].

- La diana ha de estar presente en bajas concentraciones. La abundancia de una diana determinada puede influir en las dosis de los tratamientos y encarecer los costes.

- El compuesto inhibidor ha de ser fácilmente disponible para hacer económicamente factible su utilización.

- Ha de disponerse de un ensayo *in vitro* fácil de realizar.

- El lugar de inhibición ha de ser letal para la planta. Es lo que va a decidir si un compuesto determinado es un herbicida o simplemente un inhibidor; y por último,

- La diana ha de presentar un mínimo potencial para la resistencia.

La naturaleza ha hecho el trabajo de distinguir entre cuáles son y cuáles no son los procesos más vulnerables para una planta. Un claro ejemplo es la producción de fitotoxinas por parte de bacterias que tienen su lugar de acción en las rutas de biosíntesis de diferentes aminoácidos [Singh, B.K., Flores, H.E. y Shanon, J.C., Eds., *Biosynthesis and Molecular Regulation of Amino Acids in Plants*, American Society of Plant Physiologists, Rockville, (1992)], como es el caso de *Pseudomonas syringae* patovar *phaseolicola* que produce la faseolotoxina, toxina que inhibe a la ornitina carbamil transferasa, bloqueando la síntesis de arginina; o la rizobitoxina, toxina inhibidora de la cistationina β -liasa en la ruta de biosíntesis de metionina producida por *Bradyrhizobium japonicum* y *Pseudomonas andropogonis*. Otro aminoácido cuya síntesis también es bloqueada es la glutamina, mediante la inhibición de la glutamina sintetasa por tabtoxina, toxina producida por diferentes patovares de *Pseudomonas syringae*, y por bialafos y otros derivados más potentes producidos por especies del género *Streptomyces*.

En este sentido, bialafos y sus derivados fosfotricina, su principio activo, y su sal amónica, glufosinato, ya han sido comercializados, siendo estos los herbicidas que más intensamente han sido estudiados desde su descubrimiento [Hoagland R.E., Ed. *Microbes and Microbial Products as Herbicides*, American Chemical Society, Washington, (1990)]. Estos estudios abarcan desde el establecimiento de su ruta de biosíntesis, síntesis química, clonación y sobreexpresión en otras bacterias de los genes que codifican para su síntesis (lo que ha facilitado su producción biotecnológica en fermentadores), determinación de los mecanismos moleculares de actuación, hasta la transformación genética de plantas con el gen de resistencia de *Streptomyces* que codifica para una acetil transferasa que transforma el principio activo en una forma acetilada no herbicida.

Por lo tanto, el control biológico de las malas hierbas mediante herbicidas de origen microbiano, puede jugar un papel muy importante en este campo. Muchos nuevos compuestos microbianos con una potencial actividad bioherbicida están siendo aislados, caracterizados químicamente, y parte de sus actividades biológicas determinadas utilizando diferentes técnicas. Algunos de estos compuestos son factores de virulencia de microorganismos patógenos de plan-

tas, de tal forma que toda la información disponible sobre estas fitotoxinas podrá beneficiar al desarrollo de nuevos herbicidas.

A. Pérez-García (Becario de Investigación).

NOTICIAS

El más pequeño eucariota

Recibe el nombre de picoplancton el conjunto de organismos acuáticos de un tamaño inferior a los dos micrómetros de diámetro. Esta fracción del plancton está dominada por los procariotas. Recientemente, un grupo de investigadores franceses que examinaban una muestra de picoplancton mediante citometría de flujo descubrieron un alga verde minúscula que probablemente sea el más pequeño organismo eucariótico conocido [Courties et al., *Nature*, 370, 255 (1994)]. El alga ha recibido el nombre de *Ostreococcus tauri*, y se ha localizado en una marisma de la costa mediterránea francesa. Su forma es ovalada y su diámetro mayor es, en promedio, ligeramente inferior al micrómetro. Como término de comparación, un glóbulo rojo humano, que carece de núcleo, tiene un diámetro siete veces mayor. La célula de *Ostreococcus* tiene una estructura muy simple. El núcleo contiene tan sólo 33.3 femtogramos de DNA, es decir, 33.3 milbillonésimas de gramo. En el citoplasma hay una mitocondria, un aparato de Golgi y un plastidio (donde se produce la fotosíntesis) con un grano de almidón. A pesar de esta simplicidad, *Ostreococcus* es la fracción dominante del picoplancton en la marisma en la que se ha descubierto, y su abundancia oscila entre diez y doscientos millones de organismos por litro de agua. Los autores confían en encontrar *Ostreococcus* en otras zonas costeras del Mediterráneo.

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

DIVERSIDAD. EL ÁMBITO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO DE LA DIVERSIFICACIÓN CURRICULAR.

Cuando cualquier Centro de Enseñanza Secundaria elabora su Proyecto Curricular, lo que hace es identificar las necesidades específicas de su alumnado y adecuar el currículo básico de la Administración a sus peculiaridades. En un segundo nivel de concreción, cada profesor debe diseñar la Programación de su Área o asignatura, reflexionando acerca de cómo concretar las intenciones que el conjunto del Centro se ha marcado, para que se ajusten a las características de su grupo-aula. Finalmente hay que reajustar las Programaciones cuando alguno de los alumnos presentan necesidades peculiares que exigen actuaciones más individualizadas.

El nuevo sistema educativo que propugna la L.O.G.S.E. alarga la enseñanza obligatoria hasta los 16 años, de manera que se hace coincidir el final de ésta con el inicio de la edad laboral. La característica más importante de la L.O.G.S.E. reside en la necesidad de adaptar el sistema educativo a las distintas realidades de la comunidad educativa, de forma que asegure la igualdad de oportunidades a todos los alumnos. En definitiva se trata de proporcionar una respuesta real a las necesidades educativas de todos los alumnos mediante el principio de atención diferenciada a la diversidad. Los sistemas educativos tradicionales han enfatizado uno de los ámbitos de diversidad, la capacidad para aprender, medida casi exclusivamente a través del rendimiento escolar, dejando de lado las diferencias de motivaciones, estilos de aprendizaje e intereses, así como la interdependencia de ellos.

Son, pues, cuatro los ámbitos de diversidad:

1.- Los alumnos se diferencian progresivamente en cuanto a su capacidad de aprendizaje, que no debe ser necesariamente sinónimo de capacidad intelectual.

2.- La motivación por el aprendizaje es un complejo proceso que condiciona en buena medida la capacidad para aprender de los alumnos. La motivación depende de que los contenidos que se ofrezcan a los alumnos posean significado lógico y sean funcionales para ellos.

3.- El aprendizaje de los alumnos también está relacionado con los estilos de aprendizaje. Hay que analizar si el alumno es reflexivo o impulsivo, si emplea un estilo analítico o sintético, la modalidad sensorial preferente, la capa-

cidad de mantener el nivel de atención y la preferencia en cuanto a los agrupamientos.

4.- Los intereses de los alumnos y sus preferencias.

Puesto que en las diferentes aulas existen alumnos diversos, no se puede emplear y aplicar un método de enseñanza único para todos ellos. El principio de atención a la diversidad conlleva una enseñanza individualizada, entendiéndose por tal la búsqueda de un método de enseñanza que se adapte a las características individuales de los alumnos. Los métodos de enseñanza son mejores o peores en función de que el tipo de ayuda que ofrezcan responda a las necesidades que demandan los alumnos.

El tratamiento de la diversidad pretende que cada alumno alcance los resultados más amplios posibles dentro de su zona de desarrollo próximo. En tal sentido, las metas que el alumno ha de alcanzar han de ser fijadas a partir de criterios derivados de su propia situación inicial, determinada por medio de la evaluación inicial y la detección de las ideas previas. Todo esto lleva a considerar al aula como un grupo heterogéneo, donde las estrategias de enseñanza-aprendizaje deben ir encaminadas a cumplir con el principio de atención a la diversidad y evitar la segregación o marginación de ciertos alumnos. A la hora de llevar a cabo la práctica docente, se debe comenzar siguiendo un hilo conductor básico, común para todos los alumnos, y diferentes cuñas de refuerzo o ampliación. Si algunos alumnos manifiestan dificultades de aprendizaje, el siguiente paso serían las adaptaciones curriculares. Básicamente existen dos tipos de adaptaciones curriculares:

a) Adaptaciones no significativas. Son los cambios habituales que cada profesor introduce en su estrategia de enseñanza para dar respuesta a la existencia de diferencias individuales en el estilo de aprendizaje de los alumnos, o a dificultades de aprendizaje transitorias.

b) Adaptaciones significativas. Son aquellas que consisten en la eliminación de contenidos esenciales y/u objetivos generales que se consideran importantes en las diferentes Áreas curriculares, junto con la subsiguiente modificación de los criterios de evaluación.

Como caso extremo de adaptación curricular significativa se sitúan los Programas de Diversificación Curricular

(P.D.C.), tal como se establece en el Artículo 18 del Real Decreto sobre el currículo de la L.O.G.S.E.:

"Para alumnos con más de dieciséis años podrán establecerse diversificaciones del currículo, previa evaluación psicopedagógica, oídos los alumnos y sus padres y con el informe de la Inspección Educativa".

La diversificación curricular, en cualquier caso, no supone la segregación de los alumnos en una rama diferente de la Educación Secundaria Obligatoria. De hecho, el P.D.C. incluye, al menos, tres Áreas del currículo básico en las cuales comparten enseñanza con el resto de compañeros, aunque con la consiguiente adaptación curricular. Lo que sí es nuevo es la existencia de dos Ámbitos que incluyen elementos formativos de las Áreas consideradas básicas y en las que los alumnos acogidos en el P.D.C., han mostrado graves dificultades de aprendizaje. Son los Ámbitos Sociolingüístico y Científico-tecnológico. Los alumnos a quienes van dirigidos los P.D.C. no han desarrollado en grado suficiente la capacidad de comprensión y expresión, manifiestan poca destreza para la abstracción y encuentran dificultades para relacionar sus aprendizajes con sus vivencias diarias. Todas ellas características necesarias para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

El Ámbito Científico-tecnológico engloba las Áreas de Ciencias Experimentales (C. de la Naturaleza y Física y Química), Matemáticas y, en determinados Centros, la Tecnología. En cualquier caso se trata de una integración multidisciplinar que aconseja un planteamiento más globalizador que el de las Áreas correspondientes por separado, intentando un acercamiento didáctico a la percepción de los fenómenos naturales, ligada a la experiencia cotidiana. En definitiva, la creación del Ámbito Científico-tecnológico persigue proporcionar a los alumnos de diversificación curricular, los instrumentos necesarios para que comprendan mejor el mundo que les rodea y puedan integrarse plenamente en su entorno social y cultural.

J.C. Codina Escobar (Profesor de Enseñanza Secundaria).

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