

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA

ISSN 1134-8496

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.

En este número...

Editorial.....1

Propagación de vegetales in vitro por cultivo de tejidos.....2

Oxígeno para la evolución.....3

Evolución y caos.....4

Ver el cerebro en acción.....5

Noticias6

Cómo se evalúan las ciencias de la naturaleza en la E.S.O.....7

Editorial

Con este número inauguramos el cuarto año de andadura de *Encuentros en la Biología*. Como ha venido siendo costumbre, aprovechamos el primer número de cada año para cambiar un poco la imagen de la revista. Ni que decir tiene que esperamos que los cambios mejoren la presentación y la facilidad de lectura de la publicación. Sin embargo hay algo que no ha cambiado en todo este tiempo: nuestro afán de comunicar conocimiento y despertar interés por todos los temas relacionados con la biología. La revista seguirá abierta a todos los que quieran participar. En los cursos anteriores han escrito artículos profesores de universidad, profesores de enseñanza secundaria, investigadores del CSIC, becarios de investigación, y alumnos de los tres ciclos de la licenciatura. Seguimos llamando a la participación de todos, con las únicas reglas que ya adelantábamos en nuestro hasta ahora único editorial, el del número 1 de los *Encuentros*: queremos hacer una revista que presente temas de interés en Biología usando un lenguaje que no sea exclusivo de especialistas y donde no haya artículos de "opinión". Estas dos premisas generales vienen motivadas por el tipo de lectores mayoritarios de la revista, los alumnos de la licenciatura. Por supuesto que éstos no son los únicos. La revista se reparte también en todos los seminarios de Ciencias Naturales de los centros de secundaria de la provincia, y pretendemos aumentar la tirada y difusión de la misma (labor en la que esperamos seguir contando con la colaboración del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Málaga). Es por eso que los editores de los *Encuentros* intentamos ser muy cuidadosos al vigilar que la revista no sea el medio de expresión de nuestras opiniones sobre temas que por su propia naturaleza son muy controvertidos. Creemos que los foros de opinión y de debate son esenciales para el avance del conocimiento, pero no es ése el ánimo de esta publicación. Nuestro empeño es la información rigurosa pero asequible, el estímulo a la escritura científica (no olvidamos que en algunos casos la revista se ha convertido en un taller de escritura científica para investigadores jóvenes), la participación en tareas formativas alternativas a la enseñanza tradicional, y el establecer nuevos vínculos entre profesores de secundaria, profesionales y universidad. Nada de esto lo podemos hacer sin la colaboración de todos vosotros; en esta revista el nombre es el espíritu: encuentros en la Biología. Desde aquí os pedimos vuestras aportaciones en forma de artículos, o de noticias de acontecimientos académicos (conferencias, lecturas de tesis, etc.), o bien contando experiencias educativas en el aula, o como críticas (para todo ello os podéis poner en contacto con cualquiera de los editores). En cualquier caso os lo agradecemos de antemano ya que la revista es tributaria de todos vosotros, y a todos va dirigida.

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

PROPAGACIÓN DE VEGETALES IN VITRO POR CULTIVO DE TEJIDOS

Carlos López Encina

El cultivo de tejidos es una técnica muy usada en la actualidad en la propagación de vegetales, y permite cultivar células, tejidos u órganos en un medio de cultivo de composición conocida, asépticamente y en unas condiciones ambientales controladas.

Desde el año 1904, en que Haberlandt propuso que debían existir ciertas hormonas, desconocidas entonces, que regularan la división, elongación, diferenciación celular y otros fenómenos morfogénicos, hasta el momento actual, esta técnica ha alcanzado un gran desarrollo, al cual contribuyeron de manera muy significativa Kogl, Haagen-Smit y Erxleben al descubrir la primera auxina, el AIA, en 1934; Morel y Martin, al conseguir cultivar meristemas apicales en 1982; Skoog y Miller, en 1956-57 descubriendo las citoquininas y estableciendo que la relación auxina/citoquinina controlaba la morfogénesis vegetal; y Murashige y Skoog, que en 1962 establecen un medio de cultivo con una combinación de macroelementos y microelementos, que ha sido la "panacea" para la mayoría de los medios de cultivo utilizados hasta la fecha en múltiples especies.

Se pueden establecer cuatro etapas en el método:

- Acondicionamiento del material (Fase 0): Esta fase conlleva una serie de tratamientos fitosanitarios y culturales sobre las plantas originales a cultivar, con objeto de obtener un estado fisiológico y fitosanitario óptimo, antes de su establecimiento in vitro.

- Establecimiento de un cultivo aséptico (Fase I): Esta fase tiene como objetivo la obtención de un número aceptable de propágulos (explantos) libres de contaminación (bacterias, hongos,...). Los métodos más usuales son lavado con hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico, alcohol, detergentes,... Para contaminaciones endógenas se indica la termoterapia, antibióticos, y si los resultados no son satisfactorios se recurre al saneamiento total de la planta por cultivo de meristemas.

- Multiplicación de los propágulos (Fase II): Se puede conseguir por tres métodos: Inducción de órganos axilares, inducción de órganos adventicios, e inducción de embriones somáticos.

La elección del método de multiplicación es fundamental, siendo necesario considerar el tipo de planta (herbácea, leñosa), la tasa de multiplicación requerida y la variabilidad genética admisible o deseable. Así el método de inducción de tallos axilares se caracteriza por una gran estabilidad genética del material obtenido y la menor tasa de multiplicación de los tres métodos, y los otros métodos presentan una alta tasa de multiplicación y un elevado índice de variabilidad genética.

- Enraizamiento y aclimatación (Fase III): El enraizamiento es factible in vitro o ex vitro dependiendo

de la especie. Es necesario diferenciar claramente las especies herbáceas (normalmente fáciles de enraizar), de las especies leñosas adultas (difíciles de enraizar) en las que es necesario utilizar a veces técnicas de rejuvenecimiento previas a la etapa de enraizamiento: microinjertos, podas severas a la planta madre, injertos en cascada, etiolación y subcultivos sucesivos.

El enraizamiento de los tallos procedentes de la multiplicación se induce por tratamiento con auxinas.

La aclimatación implica un cambio metabólico de las plantas de heterotrófico a auxotrófico, con el restablecimiento de la actividad fotosintética de las plántulas y la adecuación general a condiciones ambientales de mayor intensidad luminosa y menor humedad relativa. Esto se consigue de forma gradual, protegiendo el material transplantado en un sustrato adecuado en túneles de plástico, con niebla artificial y sombreados.

En cuanto a los requerimientos del cultivo de tejidos podemos diferenciar los físico-químicos del medio de cultivo y los medioambientales. Entre los primeros están incluidos el pH, consistencia del medio (líquido, sólido) y la propia composición del medio: sales minerales (macroelementos, microelementos), sustancias orgánicas (reguladores de crecimiento, hidratos de carbono, vitaminas, aminoácidos y los complejos naturales: leche de coco, zumos de frutas). Los requerimientos medioambientales son básicamente dos, la temperatura que debe ser constante y su óptimo se encuentra a unos 25 °C, y la luz, en la que se debe considerar la intensidad, fotoperíodo y calidad.

Completando esta introducción al cultivo de tejidos vegetales, es necesario enumerar otras aplicaciones de esta técnica aparte de la micropropagación vegetativa clonal, a saber:

- Obtención de plantas libres de patógenos mediante la técnica de cultivo de meristemas y microinjerto in vitro.

- Mejora genética mediante cultivo de anteras, óvulos y embriones, para solucionar problemas de incompatibilidades en la obtención de híbridos interespecíficos y también cultivos de células y protoplastos, en selección, mutagénesis e ingeniería genética.

- Obtención de metabolitos secundarios, de interés farmacológico e industrial.

Todas estas aplicaciones son objeto de intenso trabajo a nivel de investigación científica, y en mayor o menor grado de explotación industrial.

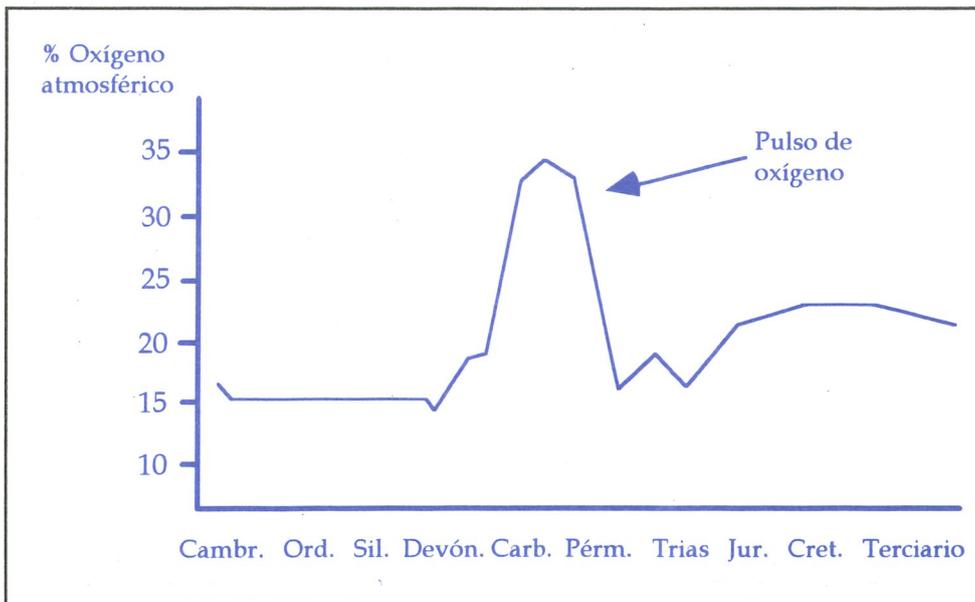
Carlos López Encina es Colaborador Científico de la E.E. La Mayora (CSIC).

OXÍGENO PARA LA EVOLUCIÓN

Ramón Muñoz-Chápuli

El contenido de oxígeno en la atmósfera no ha permanecido constante a lo largo de los tiempos. Como muestra la figura adjunta, las estimaciones realizadas señalan unos niveles probables de contenido atmosférico de oxígeno en torno al 15% desde el Cámbrico hasta mediados del Devónico. A partir de ahí se produce un súbito aumento que debió de alcanzar alrededor del 35% a finales del Carbonífero, seguido de una caída que no se detiene hasta la transición del Pérmico al Triásico, es decir, de la Era Primaria a la Secundaria [Bemery Canfield, *Am. J. Sci.*, **289**: 333 (1989)]. Desde entonces, el contenido de oxígeno atmosférico parece haber aumentado lentamente hasta el 21% actual. Se piensa que todos estos cambios se han debido a factores fundamentalmente bióticos.

¿Qué consecuencias puede haber tenido este súbito "pulso de oxígeno" en la evolución de la biota? Esto es lo



que se han preguntado un grupo de biólogos que plantean una serie de interesantes hipótesis [Graham et al., *Nature*, **375**:117 (1995)]. En primer lugar, parece obvio que una mayor disponibilidad de oxígeno atmosférico mejorará aquellos procesos dependientes de la difusión, como la respiración. Se ha calculado que la distancia a la que el oxígeno podía difundir en los tejidos era un 27% superior en el Carbonífero que en la actualidad. Esto permite estructuras corporales más sólidas y de mayor tamaño. No debe ser esto ajeno a los numerosos casos de gigantismo descritos en muchos insectos de aquella época, con libélulas de 70 cm de envergadura como *Meganeura*. Recordemos que la respiración en los insectos está basada en un sistema de tráqueas, una red de tubos que permiten la difusión del aire por el cuerpo del animal. Todas estas formas de insectos gigantes desapa-

recieron a finales del Pérmico, coincidiendo con la caída en la presión parcial del oxígeno.

Por otra parte, se piensa que la cantidad de nitrógeno en la atmósfera no ha debido de variar mucho a lo largo de los tiempos. Esto quiere decir que un 14% más de oxígeno en el Carbonífero respecto a la actualidad supone una atmósfera más densa y viscosa, es decir, capaz de proporcionar más empuje a los animales voladores. De hecho, la gran diversificación de los insectos voladores se produjo en el Carbonífero, coincidiendo con estas condiciones atmosféricas que no sólo proporcionaban ventajas desde el punto de vista físico, sino que también potenciaban el metabolismo oxidativo necesario para la propulsión.

¿Y qué hay de los Vertebrados? Precisamente la diversificación de los Tetrápodos, los vertebrados terrestres, comenzó en el Devónico y se acentuó en el Carbonífero, cuando aparecen 11 de los 16 principales linajes. Buena parte de estos linajes se extinguieron a finales del Pérmico. Es probable que la atmósfera hiperóxica favoreciera la invasión terrestre por los Vertebrados de varias formas. La transición de branquias

a pulmones se aceleraría. La pérdida de vapor de agua es menor a igualdad de oxígeno absorbido en los pulmones, evitando así un problema común a todos los anfibios, la deshidratación. Se hacen posibles mayores tasas metabólicas, posibilitando estrategias fisiológicas como la de la retención del calor interno. Este es el camino emprendido en el Carbonífero por un grupo de reptiles, los Sinápsidos, que dieron lugar a una fuerte diversificación de la que se originarán, ya en el Mesozoico, los Mamíferos. Y no olvidemos la importante fuente de alimento para todos estos vertebrados terrestres que su-

ponen los insectos gigantes y sus larvas.

A lo largo del Pérmico la concentración de oxígeno atmosférico vuelve a sus valores "normales" en el Paleozoico, pero a escala geológica esto se produce de forma suficientemente lenta para que muchos organismos vayan adaptando las innovaciones adquiridas en la época de abundancia a las nuevas condiciones restrictivas. A finales del Pérmico se produce una extinción masiva que marca el inicio del Mesozoico. Los autores antes citados piensan que quizá algunos grupos no resistieron las nuevas condiciones, pero que la caída del nivel de oxígeno atmosférico no está relacionada primariamente con esta gran extinción.

Ramón Muñoz-Chápuli es Profesor Titular de Biología Animal.

EVOLUCIÓN Y CAOS

Manuel Mendoza

La selección natural, propuesta por Darwin como motor y guía de la evolución de las especies, ha sido a menudo utilizada para justificar la guerra, la dominación, la explotación, etc. Stephen J. Gould, en su libro *Bully for Brontosaurus* [W.W. Norton, Nueva York (1991)] da varias razones por las que ese tipo de justificaciones no son válidas, siendo su argumento principal el que no se pueden extraer lecciones morales del funcionamiento del mundo natural. Robertson, en su artículo titulado: *Is Darwinian Evolution a Mathematically Stable Process?* [*Evolutionary Theory* 10:5, 261-272, 1994] da un argumento quizá más contundente, y es que quienes hacen ese tipo de justificaciones demuestran una total ignorancia de la naturaleza caótica de la evolución de las especies, y especialmente de su tendencia a llevarlas a veces hacia la extinción.

Las variables que afectan a la supervivencia de los individuos de una especie, como el peso, la frecuencia reproductiva, etc. alcanzan un máximo de eficacia para determinado valor, y por tanto se pueden representar como funciones matemáticas (funciones de eficacia). Según las teorías gradualistas, las especies se dirigen hacia dicho máximo de forma inexorable a lo largo de millones de años, guiadas por la selección natural de aquellos individuos cuyos valores más se acercan al máximo de cada una de sus funciones de eficacia. Con el paso de los millones de años, y por tanto a una escala geológica, estos cambios dan lugar a nuevas especies. Sin embargo, dadas las tasas de cambio conseguidas con la selección artificial, la evolución necesitaría muchísimo menos tiempo para generar nuevas especies. Gould, autor de la teoría del equilibrio intermitente junto con Eldredge, sugiere que un lapso de tiempo típico para la creación de una nueva especie podría ser de 5.000 a 10.000 años, valores ínfimos a una escala de tiempo geológica [Gould, *Natural History*, Opus200, (1991)].

Según esto, las especies mantendrían siempre sus poblaciones en las inmediaciones del máximo de eficacia para todas las variables implicadas en el éxito de la especie, y los cambios que darían lugar a nuevas especies no serían el producto de la selección de aquellos individuos que más se aproximan a dicho máximo, sino de los cambios en el tiempo de las funciones de eficacia. Si esto es así, la selección natural sería sólo el motor y no la guía de la evolución. Estas funciones de eficacia varían con el tiempo, movidas por dos clases de fuerzas: procesos físicos, como cambios climáticos, del nivel del mar, etc. y procesos bióticos, producidos por la interacción entre los organismos. La inestabilidad caótica que es inherente a la estructura matemática interna del proceso de evolución Darwiniana es producto del efecto de estas interacciones sobre las funciones de eficacia, y es que, si cambios en las funciones de eficacia provocan cambios en la distribución de los fenotipos, los cambios en la distribución de los fenotipos pueden provocar, a su vez, cambios en las funciones de eficacia. Esto es consecuencia directa del efecto que tienen los organismos sobre su propio ambiente. Darwin, ya se dió cuenta de la importancia del componente biológico en la selección natural, pero él desconocía

las consecuencias de inestabilidad matemática caótica de este hecho, y concretamente de la capacidad de los ciclos de retroalimentación (*feedback loops*) de crear hiperestabilidad o inestabilidad caótica según sean positivos o negativos.

Un ejemplo de la influencia de los fenotipos sobre la función de eficacia, que parece común en la naturaleza, es el de especies cuyos individuos parecen ser más eficaces cuando presentan valores, para una determinada variable, ligeramente superiores al valor medio de la población, como puede ser el tamaño de las astas en algunas especies de cérvidos, o el propio tamaño corporal en distintos grupos animales y vegetales. Por ejemplo, para el tamaño corporal, si partimos de una población original es de esperar que todos los individuos tengan un tamaño cercano al óptimo de la especie, que viene dado por el máximo de la función de eficacia para esa variable. El hecho de que el ser ligeramente mayor que la media confiera mayor eficacia, por ejemplo a la hora de competir por una hembra o por el alimento, hará aparecer en la función de eficacia un segundo pico ligeramente desplazado hacia la derecha. Este segundo pico provocará que en unas cuantas generaciones la población presente una media ligeramente mayor, lo cual a su vez, desplazará nuevamente al segundo pico hacia la derecha, y así hasta llevar a la especie a los límites físicos posibles, indudablemente lejos del máximo de eficacia en el que se encontraba, y por tanto peligrosamente susceptible a la extinción. También se puede dar el caso de que se le abran las puertas a un nuevo nicho ecológico, lo que equivaldría a alcanzar un nuevo máximo teórico de la función de eficacia, distinto al anterior.

Una concepción de los procesos evolutivos dominados por la inestabilidad producida por los efectos caóticos de los procesos de retroalimentación descontrolados (*runaway feedback loops*) abre una nueva línea de explicación a muchos fenómenos observados tanto en el registro fósil como en los ecosistemas actuales. Robertson [*J. Theor. Biol.* 152:469 (1991) y *Evolutionary Theory* 10:261 (1993)] describe varios ejemplos de ello, como el aumento de tamaño a lo largo de la evolución filética (la regla de Cope), la neotenia, el equilibrio intermitente, la ortogénesis, las extinciones periódicas, y otros ejemplos que ilustran la utilidad de estos conceptos para explicar de forma más sencilla fenómenos, que aunque a menudo se pueden explicar con las teorías evolutivas convencionales, necesitan generalmente de argumentos *ad hoc*.

Según Ervin Laszlo, fundador del *General Evolution Research Group*, la evolución de las sociedades humanas, como la evolución de otros sistemas complejos lejos del equilibrio termodinámico, se rige por las mismas leyes que rigen la evolución de los sistemas naturales [*Evolución, La gran síntesis*, Edt. Espasa Calpe, Madrid (1987) y *La gran bifurcación*, Edt. Gedisa, Barcelona (1990)], por lo que, tal y como se lamenta el propio Robertson al final de su artículo *Is Darwinian Evolution a Mathematically Stable Process?*, la competencia entre las sociedades humanas está sujeta al mismo tipo de procesos de retroalimentación descontrolada e inestabilidad caótica que a veces lleva a las especies a la extinción.

Manuel Mendoza es Doctorando en Paleontología.

VER EL CEREBRO EN ACCIÓN

José Carlos Dávila

¿Qué ocurre en el cerebro mientras percibimos, nos movemos, recordamos o simplemente pensamos? ¿Qué regiones cerebrales están interviniendo en éstos u otros procesos?. Estas y otras preguntas similares sólo podían ser contestadas hasta hace poco tiempo mediante respuestas basadas en evidencias indirectas, obtenidas fundamentalmente del estudio de la estructura de cerebros fijados o mediante registros de la actividad nerviosa en animales, bajo condiciones controladas.

Hasta hace pocos años, la mayor parte de lo que sabía sobre la anatomía funcional del cerebro humano provenía de los estudios de las autopsias de pacientes con lesiones cerebrales o de la experimentación con animales, especialmente primates, extrapolarlo en este último caso los resultados obtenidos a los humanos. El estudio de los cerebros de personas fallecidas con una determinada disfunción podía revelar lesiones en ciertas áreas cerebrales y por tanto averiguar qué región concreta del cerebro era responsable de la función normal. Así, a título de ejemplo, se conocían desde hace tiempo varias de las regiones que intervienen en el aprendizaje del lenguaje en los humanos, gracias al estudio de los cerebros de personas fallecidas que habían manifestado algún tipo de afasia (trastorno del lenguaje). Otros tipos de lesiones o anomalías cerebrales eran responsables de defectos funcionales como la ceguera o sordera. En muchos casos, la lesión cerebral era debida a un problema vascular. A partir de este tipo de estudios se ha llegado a disponer de un mapa más o menos preciso de numerosas áreas funcionales dentro del cerebro humano, ciertamente útil para la neurocirugía, aunque la localización exacta de una pequeña lesión cerebral sólo era posible tras el estudio detallado del cerebro fijado.

En los últimos años, dos técnicas que permiten estudiar el cerebro 'en vivo' han revolucionado el estudio de la organización estructural y funcional del cerebro, particularmente del cerebro humano. Estas dos técnicas fundamentales son la de obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI, magnetic resonance imaging) y la tomografía por emisión de positrones (PET, positron emission tomography). Gracias a estas técnicas de alta resolución se pueden, por ejemplo, localizar con bastante precisión lesiones cerebrales sin necesidad de procedimientos 'agresivos' tales como intervenciones quirúrgicas, así como examinar el cerebro mientras una persona está percibiendo alguna sensación (viendo, oyendo o tocando), realizando alguna acción motora o simplemente pensando. La MRI está basada, lo mismo que la PET, en la tomografía computerizada, o lo que es lo mismo, obtención de imágenes por ordenador de un plano o sección simple del tejido (tomografía proviene del griego *tomos*, corte), y puede ser utilizada para explorar tanto la estructura como la función cerebral, pero su resolución espacial es mucho mejor que la de la tomografía computerizada, siendo comparable a una observación microscópica a bajos aumentos de tejido fijado y cortado.

Con esta técnica, que tiene una amplia aplicación en la detección de lesiones cerebrales, se pueden distinguir diferentes tejidos o diferentes partes de un tejido por su composición química específica. La MRI puede ser utilizada para detectar procesos metabólicos, pero la PET es hoy día más sensible para detectar pequeñas concentraciones de compuestos marcados.

La tomografía por emisión de positrones proporciona imágenes de la función del cerebro y, por ello, esta técnica ha revolucionado el estudio de los procesos cognitivos, así como de las enfermedades psiquiátricas y neurológicas en el cerebro humano. La PET combina los principios de la tomografía computerizada con la de la obtención de imágenes mediante isótopos. Las imágenes obtenidas mediante PET reflejan la distribución en el tejido de un isótopo que emite radiación. Este isótopo puede ser administrado mediante inyección o inhalación. Así, usando isótopos que emiten positrones (electrones cargados positivamente) a determinados compuestos utilizados por las neuronas, se pueden analizar 'en vivo' y en tiempo real una gran variedad de procesos bioquímicos en el cerebro. Los isótopos radiactivos del carbono (^{14}C), nitrógeno (^{15}N) u oxígeno (^{18}O) pueden sustituir a los átomos no radiactivos en aquellos compuestos que vayan a ser estudiados, sin pérdida de la actividad biológica. Así por ejemplo, se puede 'ver' el metabolismo cerebral usando un análogo radiactivo de la glucosa, o 'ver' la distribución y densidad de receptores cerebrales administrando neurotransmisores marcados radiactivamente.

Una de las aplicaciones más poderosas de la visualización mediante PET es precisamente el registro del metabolismo neuronal de la glucosa, una medida de la actividad de las células nerviosas. Un mayor consumo de glucosa es indicativo de una mayor actividad neuronal. El método no utiliza glucosa marcada, sino un análogo, la 2-deoxiglucosa marcada, que es tomada por las neuronas y fosforilada por la hexoquinasa de la misma manera que la glucosa. Sin embargo, la deoxiglucosa fosforilada no puede ser metabolizada por la neurona ni salir de ella, con lo que se produce una acumulación de este compuesto dentro de las neuronas activas. Con este método es posible visualizar la utilización de glucosa, es decir la actividad de las neuronas, en pequeñas regiones del cerebro.

Los neurotransmisores u otras moléculas que se unen específicamente a los receptores (ligandos) también pueden marcarse, con lo que con la PET puede visualizarse la distribución de determinados tipos de receptores en el cerebro 'en vivo'.

La tomografía por emisión de positrones es una herramienta analítica extraordinariamente sensible que permite detectar cambios picomolares en la concentración de compuestos marcados. Con este método puede ser analizada la composición bioquímica del tejido nervioso y, por tanto, puede estudiarse el funcionamiento de los circuitos neuronales durante la percepción, el movimiento o el pensamiento.

José Carlos Dávila es Profesor Titular de Biología Celular

NOTICIAS

Espermatozoides gigantes

La mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) fue elegida en 1909 por T.H. Morgan como modelo para sus estudios genéticos, en lo que ha sido una de las decisiones más acertadas y fructíferas de la Historia de la Biología. Además de su utilidad como modelo genético, la mosca del vinagre ha proporcionado no pocas sorpresas a los investigadores. Quizá la más conocida es el descubrimiento de los cromosomas gigantes en las glándulas salivares, hecha por el botánico alemán Emil Heitz en 1933. Otra sorpresa, menos conocida, fue la constatación de la enorme talla de sus espermatozoides, debida a la gran longitud del flagelo. K.W. Cooper, en 1950, afirmaba que se trataba de los espermatozoides más impresionantes de los que se tenía noticia, con una longitud media de 1,76 mm, es decir, 300 veces más largos que los humanos.

Estas cifras han empalidecido completamente a medida que se han ido estudiando otras especies de *Drosophila*. Pero lo que ha superado todo lo imaginable es el reciente descubrimiento de espermatozoides gigantes de casi seis centímetros en la mosca *Drosophila bifurca*, un pariente lejano de la mosca del vinagre [Pitnick et al., *Nature*, 375:109 (1995)]. En concreto, la longitud media de los espermatozoides de este díptero es de 58,29 mm, es decir, 25 veces más largos que el animal adulto. Por supuesto, esta longitud se debe a un larguísimo flagelo, enrollado sobre sí mismo centenares de veces. Como es obvio, la producción de estos gametos requiere unos testículos de gran tamaño. Las gónadas de los machos de *D. bifurca*, fuertemente enrolladas en el abdomen, miden unos 67 mm de longitud y suponen casi el 11% del peso seco total del animal.

¿Qué sentido tiene este gigantismo de los gametos masculinos en las moscas del vinagre? Se han proporcionado varias explicaciones, pero ninguna parece convincente. Se ha señalado que los espermatozoides de mayor tamaño son más eficientes a la hora de fecundar el óvulo. Sin embargo, existe una clara correlación negativa en las especies de *Drosophila* entre el tamaño de los espermatozoides y el de la puesta. Parece poco probable que una mejora en la eficiencia del esperma compense la reducción de la fecundidad. También se ha pensado que el flagelo, que en algunas especies entra dentro del óvulo, podría desempeñar alguna función nutritiva. Pero, en *D. bifurca*, esto no sucede; apenas tres milímetros de flagelo llegan a penetrar en el óvulo. Por último, hay quien propone que el gigantismo de los espermatozoides está encaminado a garantizar la transferencia de mitocondrias paternas (y de DNA mitocondrial) al cigoto. Recordemos que, normalmente, el DNA mitocondrial se transmite sólo por vía materna. Como afirman los autores antes citados, dada la costosa inversión reproductiva que supone fabricar los espermatozoides gigantes, esto sería un sorprendente (y poco verosímil) caso de "genes mitocondriales

egoístas", que han sido capaces de anteponer sus propios "intereses" de perpetuación a los de los genes nucleares. La cuestión, por tanto, sigue abierta.

Premio nobel 1995 en Fisiología y Medicina

El Premio Nobel de este año en Fisiología y Medicina ha recaído conjuntamente en el estadounidense Edward B. Lewis y los alemanes Christiane Nüsslein-Volhard y Eric F. Wieschaus por sus descubrimientos sobre el control genético de las primeras etapas del desarrollo embrionario. Esta decisión subraya el interés que en los últimos años ha recibido el estudio de los mecanismos implicados en el control del desarrollo y en la morfogénesis.

Christiane Nüsslein-Volhard y Eric Wieschaus coincidieron, a finales de los setenta, en el Laboratorio Europeo de Biología Molecular de Heidelberg. Allí decidieron unir esfuerzos en el común objetivo de conocer cómo el huevo de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) se convertía en un embrión segmentado. Trataron las moscas con sustancias mutagénicas para localizar genes que causaban grandes malformaciones al comienzo del desarrollo. Después de un año llegaron a localizar quince de estos genes, y determinaron el orden en que estos son necesarios durante el desarrollo [Nüsslein-Volhard y Wieschaus, *Nature*, 287:795 (1980)]. Quedaba demostrado que el número de genes implicado en la temprana formación del patrón corporal era limitado, y que estos genes podían ser clasificados en grupos funcionales. Este resultado animó a muchos laboratorios a seguir sus pasos y, especialmente, a comprobar si algo similar se producía en los vertebrados.

Edward B. Lewis, investigador del Instituto de Tecnología de California, llevaba trabajando desde los años cuarenta en el estudio de las mutaciones homeóticas de *Drosophila*. Una mutación homeótica consiste en el cambio de identidad de un segmento corporal determinado. Un ejemplo, conocido desde principio de siglo, es la mutación *bithorax*, cuya manifestación consiste en que el tercer segmento torácico, cuyas alas suelen estar atrofiadas en los dípteros, adquiere la identidad del segundo segmento. Las moscas mutantes tienen, por tanto, dos pares de alas. Lewis demostró que los genes responsables del fenómeno formaban parte de una familia de genes (el complejo *bithorax*) que controlaban la segmentación a lo largo del eje corporal. De forma sorprendente, el orden en que estos genes se disponían en el cromosoma es el mismo que el orden de los segmentos corporales cuya identidad controlan. Por si esto fuera poco, la expresión de estos genes se solapa en los segmentos corporales, dando lugar a combinaciones esenciales para establecer su identidad [Lewis, *Nature*, 276:565 (1978)]. Este trabajo pionero permitió la identificación de los cuatro cúmulos de genes *Hox* en los mamíferos, y su implicación en el control del desarrollo de los vertebrados, incluyendo a los humanos.

Más información puede ser consultada en *Encuentros en la Biología* núms. 19 (p. 3), 22 (p. 3) y 23 (p. 5).

ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

CÓMO SE EVALÚAN LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA EN LA E.S.O.

Juan Carlos Codina Escobar

El nuevo sistema educativo que propugna la L.O.G.S.E. establece que tras la Enseñanza Primaria, los chicos y chicas de 12 a 16 años de nuestra sociedad cursarán una Enseñanza Secundaria Obligatoria (E.S.O.). Esta etapa de Enseñanza Secundaria Obligatoria se divide en dos ciclos: el primero que viene a sustituir a los cursos terminales de la E.G.B., y, el segundo que reemplaza tanto a los cursos iniciales del Bachillerato actual (1º y 2º de B.U.P.) como a los de la antigua Formación Profesional. El área de Ciencias de la Naturaleza, también denominada de Ciencias Experimentales, en la E.S.O., comprende dos asignaturas cuatrimestrales, Física-Química y Biología-Geología.

Los cambios que demanda el nuevo sistema educativo no sólo han de producirse en el nivel organizativo, sino que deben ser más profundos, afectando a todos los elementos del currículo, a la vez que han de posibilitar el necesario trabajo en equipo del profesorado. Quizás el elemento curricular más importante, no sólo de éste sino de cualquier sistema educativo, sea el referente a la evaluación. La evaluación en E.S.O. es un proceso inmerso en el propio proceso educativo. Ha de ser *continua, integradora e individualizada* (Ley Orgánica 1/1990).

Tal como establece el Real Decreto 1006/1991, "los profesores evaluarán tanto los aprendizajes de los alumnos como los procesos de enseñanza y su propia práctica docente". En tal sentido, se evalúa para el alumno, para darle una información sobre sus aprendizajes, se evalúa para el profesor, para que conozca los resultados de su acción y se evalúa para el sistema, para certificar los resultados de los alumnos [Santos Guerra, *Hacer visible lo cotidiano. Teoría y práctica de la evaluación cualitativa en los centros escolares* (1990)]. Esto supone que el concepto de evaluación posee un significado de perfeccionamiento, en el cual la función que se asigna a ésta es el suministro permanente de información, para su valoración y toma de medidas [Stufflebeam y Shinkfield, *Evaluación sistemática. Guía teórica y práctica* (1987)].

Centrándonos en la evaluación del proceso de aprendizaje de los alumnos de E.S.O. en el área de Ciencias de la Naturaleza, al igual que en el resto de las áreas, el referente principal de la evaluación son los objetivos de etapa y área. Los criterios de evaluación, plasmados en los correspondientes Proyectos Curriculares de Centro, derivan de las capacidades que se pretende alcancen los alumnos. Para la evaluación del proceso de aprendizaje hay que dar respuesta a las siguientes preguntas:

a) ¿Qué evaluar? Las capacidades, expresadas en los objetivos de etapa y área.

b) ¿Cómo y cuándo? Debe ser continua (inicial-sumativa-final) e individualizada, a través de los contenidos. Frente al normotipo estadístico en el que la comparación se establece con respecto a lo que es normal en un grupo, normalmente el nivel medio de la clase, se sitúan los normotipos de criterio, básicamente los objetivos previstos, y el individualizado, en el que se valora la evolución y el progreso del alumno. La evaluación inicial es básica en este caso.

c) ¿Para qué? Para orientar al alumno y reorientar el proceso de enseñanza y aprendizaje. Al evaluar hay que *comprender* y, por ende, *cambiar* [Stenhouse, *Investigación y desarrollo del currículum* (1984)].

La contestación de la segunda pregunta supone la utilización por parte del profesor de una serie de instrumentos de evaluación. Dado que la adquisición de las capacidades formuladas en los objetivos de etapa y área se consigue a través de contenidos de tipo conceptual, procedimental y actitudinal, la gama de instrumentos de evaluación debe ser lo más variada posible. Y es que difícilmente se puede determinar si un alumno es capaz de "valorar las repercusiones que sobre el medio físico tienen las actividades humanas y contribuir activamente a la defensa, conservación y mejora del mismo" por medio de la típica prueba escrita. Eso sin considerar que según algunas investigaciones, para que exista una cierta objetividad en la corrección de los exámenes de ciencias harían falta, al menos, diez correctores [Fernández Pérez, *Evaluación y cambio educativo: el fracaso escolar* (1986)].

Así pues, dependiendo del tipo de contenido a evaluar, los instrumentos serán variados. Para contenidos conceptuales el más empleado sigue siendo la prueba escrita, control, examen o como quiera llamársela, complementada por entrevistas, preguntas orales en clase y actividades recogidas en el cuaderno del alumno. La gama de instrumentos y estrategias se incrementa para el caso de contenidos procedimentales. Se ha de valorar el razonamiento científico, la interpretación y análisis de gráficas y tablas, selección de información, etc., por medio de actividades, prácticas y experiencias. Los contenidos actitudinales son los de más difícil valoración, porque en la mayoría de los casos no existe una prueba objetiva al respecto. Además de la observación directa, la realización de debates y las escalas de valores son instrumentos de posible uso. Teniendo en cuenta que los objetivos de área son idénticos para Física-Química y Biología-Geología, el acuerdo entre ambos profesores sobre la nota final, única, no debería de plantear graves problemas. En cualquier caso, hacer las cosas bien en este aspecto supone un trabajo mucho más arduo que el que hasta ahora se ha venido realizando.

Juan Carlos Codina Escobar es Profesor de E. Secundaria.