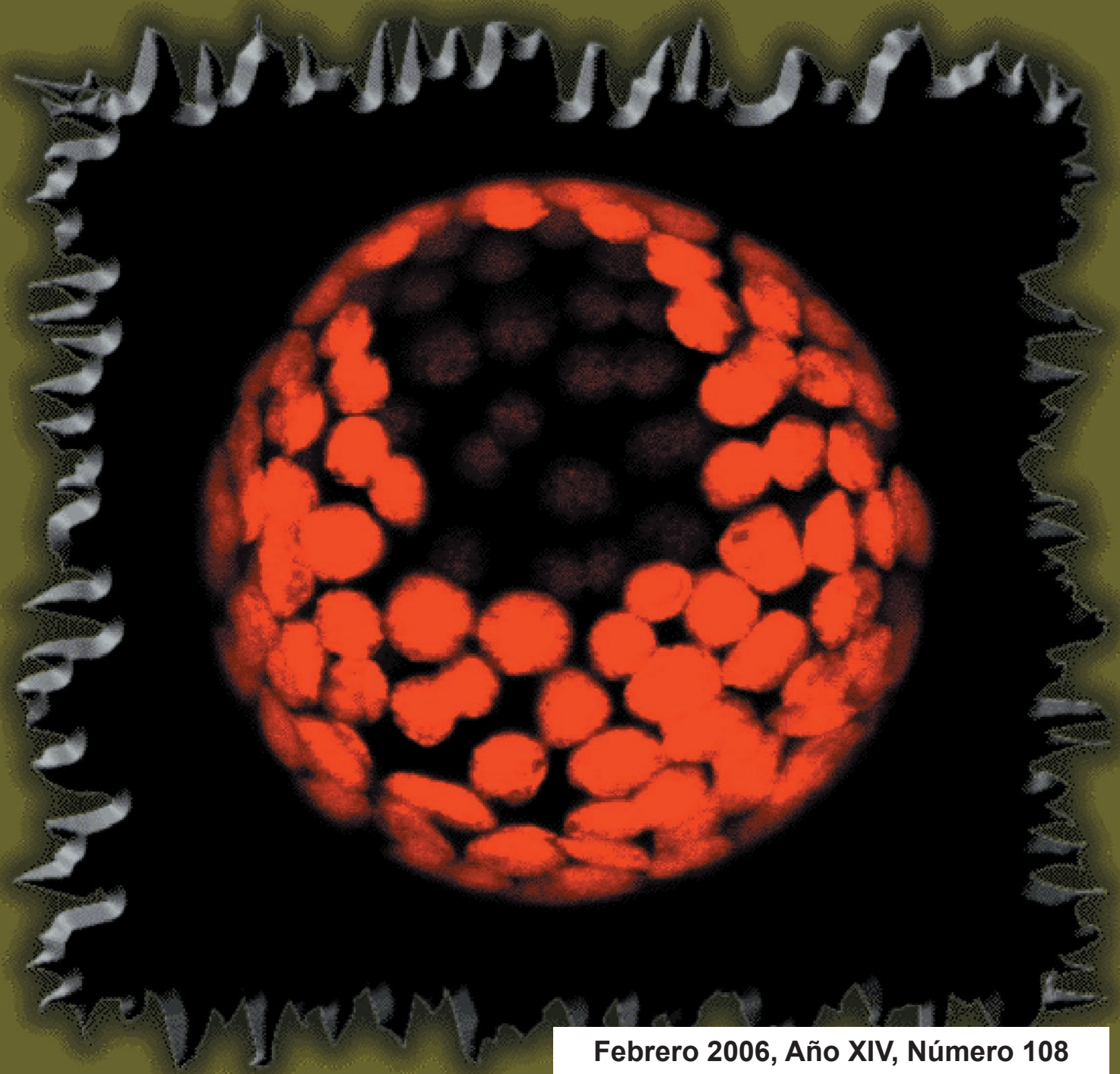


# Encuentros en la Biología



**Director:**  
Salvador Guirado

**Editor jefe:**  
M. Gonzalo Claros

**Comité editorial:**  
Ramón Muñoz-Chápuli,  
Antonio de Vicente,  
José Carlos Dávila,  
Francisco Cánovas,  
Francisca Sánchez

**Diseño de la portada:**  
M. Gonzalo Claros

**Correspondencia a:**  
Encuentros en la Biología,  
M. Gonzalo Claros (Editor jefe),  
Depto. Biología Molecular y Biquímica,  
Facultad de Ciencias,  
29071 Málaga  
Tfno.: 952 13 7284  
email: claros@uma.es

**Dirección de internet:**  
<http://www.encuentros.uma.es/>

Editado con la financiación del  
Vicerrectorado de Investigación y  
Doctorado de la Universidad de Málaga.

D.L.:MA-1.133/94

## ÍNDICE

### 3 Procesos moleculares de la formación de la madera

*Raúl Herrera, Marcelo Garcés y Luis Cancino*

### 5 Metaloproteinasas de la matriz extracelular como dianas antineoplásicas

*Beatriz Martínez Poveda*

### 7 Cooperación educativa a través de la antropología forense entre enseñanza secundaria y universidad

*José Ramón Vallejo Villalobos, Diego Peral Pacheco, María Jesús Figuerro Maynar y María Lamas García*

**Portada:** *Protoplasto vegetal observado con óptica confocal gracias a la autofluorescencia de los cloroplastos.* Foto: Carolina Valle Piqueras, Dep. Biología Molecular y Bioquímica, UMA.

#### Instrucciones para los autores

La revista Encuentros en la Biología es una publicación mensual durante el curso académico español que pretende difundir, de forma amena y accesible, las últimas novedades científicas que puedan interesar tanto a estudiantes como a profesores de todas las áreas de la biología. Además de la versión impresa, la revista también se puede consultar en línea en <http://www.encuentros.uma.es/>. **Cualquier persona puede publicar en ella** siempre que cumpla las siguientes normas a la hora de elaborar sus originales:

1. Todos los manuscritos deberán ser inéditos o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos de reproducción. Además, deben tener alguna relación con el objetivo de la revista —los que simplemente reflejen opiniones se rechazarán directamente—.
2. El formato del documento puede ser RTF, SXW/ODT (OpenOffice) o DOC (Microsoft Word). Debido a las restricciones de espacio, la extensión de los mismos no debe superar las 1600 palabras; en caso contrario, el editor se reserva el derecho de dividirlo en varias partes que aparecerán en números distintos.
3. Cada contribución constará de un título, autor o autores, y su filiación (situación académica; institución u organismo de afiliación; dirección postal completa; correo electrónico; teléfono). Para diferenciar la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (\*, #, ¶, †, ‡) después del nombre de cada autor.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de los genes y las especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva aquellos términos que se citen en un idioma que no sea el castellano.
5. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos serán en blanco y negro puros, y deberán ir colocados en su posición, dentro del archivo. Las figuras, las fórmulas y las tablas deberán enviarse en formato GIF o JPG, a una resolución mínima de 150 dpi, máxima de 300 dpi y al menos 8 bits de profundidad.
6. Cuando sean necesarias, las referencias bibliográficas se citarán entre paréntesis dentro del propio texto indicando el apellido del primer autor (se escribirá «y cols» en caso de ser más), el año, la revista o libro donde aparece, el volumen y las páginas.
7. Envío de contribuciones: el original se enviará por correo electrónico al editor jefe (claros@uma.es) o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al contenido de su contribución. Aunque lo desaconsejamos, también se pueden enviar por correo ordinario (Departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga, 29071 Málaga, España) acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
8. Los trabajos los leerán al menos un editor y/o un revisor externo para asesorar sobre la conveniencia de publicar el trabajo; también se podrán sugerir al autor las mejoras formales o de contenido que harían el artículo más aprovechable. En menos de 30 días se enviará la notificación al autor por correo electrónico.

## PROCESOS MOLECULARES DE LA FORMACIÓN DE LA MADERA

Raúl Herrera, Marcelo Garcés y Luis Cancino

*Instituto de Biología Vegetal y Biotecnología, Universidad de Talca (Chile)*

Los procesos de desarrollo celular los constituyen intrincadas relaciones que, dado el avance de las nuevas técnicas moleculares, hemos ido conociendo con cierto detalle, pero cuya sincronía todavía estamos lejos de desentrañar.

Los árboles son organismos de larga vida que presentan mucha variabilidad genética. El tiempo involucrado en el crecimiento y los efectos del medio ambiente son bastante elevados para la mayoría de los rasgos económicos importantes. Así, en estas especies, el proceso de cultivo y selección es muy lento, haciendo que los programas de mejoramiento forestal sean una parte importante de la silvicultura intensiva. Si bien se ha avanzado en refinar técnicas de selección, aún existen varias limitaciones en el momento de aplicarlas, las cuales incluyen el tiempo que se necesita para alcanzar la madurez sexual y el tiempo requerido para evaluar el desarrollo del crecimiento.

Es crucial, entonces, conocer cómo se produce la formación de la madera para definir los elementos biológicos con los cuales fundamentar un proceso de selección. La formación de la madera es un proceso complejo en el que las células del xilema y del cambium participan activamente en la síntesis de los metabolitos que forman parte de ella. Más aún, son estas células las que responden cuando el tronco pierde la verticalidad por efecto de algún tipo de agresiones (viento, nieve). El proceso en sí es una condición celular única, donde tienen lugar varias etapas sincronizadas finamente y que incluyen: 1) división celular, 2) expansión y elongación de la célula, 3) exudación de metabolitos y formación de pared secundaria y 4) muerte celular.

Una mirada a un corte transversal del tronco de un árbol nos presenta, al menos, 6 tipos distintos de madera: 1) la madera temprana, formada durante la primavera, 2) la madera tardía, formada durante el verano, 3) la madera juvenil, formada durante los primeros estados de desarrollo, 4) la madera adulta, formada durante el crecimiento después de alcanzar madurez sexual, 5) la madera de reacción y 6) la madera de compresión, ambas formadas en respuesta a la pérdida de la verticalidad del fuste. Cada una posee características propias y bien definidas y se detecta que el proceso es más lento durante la formación de madera tardía, que incluye una mayor acumulación de lignina (Plomion y cols 2001; Plant Phys 127:1513-1523).

Con una mirada hacia el interior de los componentes moleculares se puede apreciar que la pared celular está compuesta de múltiples capas que se fabrican

coordinadamente durante la diferenciación en cada etapa descrita. La primera en ser formada es la lámina media, luego, la pared celular primaria, que está compuesta de muchas capas de microfibrillas dispuestas sin orden. Cuando la célula alcanza su tamaño definitivo, se forma la pared secundaria, dentro de la pared primaria. Esta nueva pared es la más importante en términos de fuerza mecánica. La pared secundaria está subdividida en tres capas diferentes: S1, S2 y S3 y cada una de estas capas, compuestas de microfibrillas de celulosa, alineadas de manera paralela, que cambian de capa a capa (Timell, 1986; en *Compression wood in gymnosperms*. Springer-Verlag). Las hemicelulosas y la lignina también están presentes en cada una de estas capas. Estas tres capas S se pueden modificar durante la maduración celular, cambiando la cantidad de lignina y celulosa en la pared secundaria, lo que otorga unas características particulares al tipo de madera de que se trate.

En un análisis anatómico y estructural, que compare madera temprana y madera tardía, se observa que las traqueidas son cortas, la pared delgada, poseen mayor ángulo de microfibrilla, gran contenido de celulosa y bajo contenido de lignina. A su vez, entre la madera juvenil y la madura, encontramos que las traqueidas son más cortas, poseen un gran lumen, presentan la pared delgada, mayor ángulo de microfibrilla, baja densidad y más madera de compresión (más lignina y menos contenido de celulosa). Así, el anillo de crecimiento en el tronco delata las fluctuaciones ambientales que se manifiestan en cada temporada. El cambio en la formación de madera más lignificada (madera tardía, madera dura) está marcada por un gran incremento en la gravedad específica de ésta, la cual, a su vez, está asociada con un aumento en el grosor de la pared celular e implica una mayor calidad de la pulpa. De esta manera, los cambios ambientales y las fluctuaciones en la formación de madera temprana y tardía redundan en las cualidades de productos para la industria papelera que incrementan la densidad de madera o cambian los patrones de lignina, cuyo contenido es muy costoso en la extracción de celulosa. Desde una perspectiva molecular, este proceso de múltiples pasos involucra la expresión de un número de genes estructurales, coordinados por factores de transcripción, principalmente involucrados en la biosíntesis de polisacáridos (entre el 40 y el 50% de la madera es celulosa, el 45% es hemicelulosa y el resto pectinas), lignina (entre el 25 y el 35%) y proteínas de la pared celular. Un gran número de ellos determina la composición de la pared celular y la forma que tienen las

células. Los antecedentes que apoyan estas conclusiones se han obtenido por análisis bioquímicos clásicos, la aplicación de herramientas génicas (Le Provost y cols 2003; *Planta* 217: 820-830), el estudio de perfiles de expresión proteica (Plomion y cols 2000; *Plant Physiol* 123: 959-969) y el análisis de una gran colección de mutantes de *Arabidopsis thaliana* (Fagard y cols 2000; *Plant Physiol Biochem* 38: 15-25).

La pérdida de la rectitud de fuste desencadena una serie de cambios bioquímicos en la pared celular, caracterizados por el estrés de tensión (angiospermas) o compresión (gimnospermas) en la periferia del tronco. En respuesta a estos estímulos, el patrón de crecimiento de los árboles estresados se puede modificar con la formación asimétrica, respecto de la madera normal. El estrés llega a ser manifiesto en una disección del tallo, en el que el tejido externo es más corto que el largo original del internodo disectado y el interno es más alargado.

La madera de compresión se caracteriza por varias anomalías en términos químicos, anatómicos, ultraestructurales, físicos y propiedades mecánicas. Se han observado cambios en la forma de las traqueidas (más cortas longitudinalmente y redondas transversalmente). La pared celular está más lignificada (principalmente con residuos de p-hidroxifenil-guaiacilo), lo cual aumenta la fuerza compresiva de la madera. En la compresión también se observan, entre las microfibrillas, fisuras o cavidades que se llenan, entre otras, de moléculas como 1,3-glucanos, que tienen un gran potencial para embeber agua e hincharse. También se ha observado en la madera de compresión una médula excéntrica, gran densidad y un mayor ángulo de la microfibrilla de celulosa (30 a 50° comparado a lo normal), bajo contenido de celulosa y una coloración café-rojizo. Por su parte, entre madera opuesta y madera normal, se observan anillos de crecimiento muy angostos, poca madera tardía, traqueidas más largas, reorganización de las traqueidas (regular en la madera temprana, a menudo irregular en la madera tardía), una capa S3 más gruesa y mayor variabilidad en el ángulo de microfibrilla. Todas estas características fenotípicas reflejan la elevada complejidad del proceso de formación de la madera y permiten inferir que las diferencias químicas, anatómicas y estructurales serían el resultado de la expresión diferencial de genes/proteínas en el xilema.

Desde una perspectiva molecular, queda claro entonces que en cada uno de los procesos hay expresión diferencial de los genes que facilitan la formación de cada una de las estructuras y exudados. ¿Cuáles son los genes que participan del proceso? ¿Cómo identificar la secuencia de participación de dichos genes? ¿Cómo se produce la respuesta al estrés de torsión?

La biología molecular proporciona varias técnicas para el reconocimiento de los productos de expresión. Los métodos de análisis de intermediarios de la expresión (transcritos), como *differential display*, cDNA-AFLP, SAGE, hibridación sustractiva, macro- y micromatrices (*microarray*), pueden informar sobre los genes que se expresan diferencialmente (Dunwell y cols 2001; *Biol. Research* 34:153-164). Estas técnicas, están basadas en la síntesis de un DNA complementario (cDNA), el cual es una copia del RNA mensajero (mRNA), que contiene la información de las proteínas expresadas en un momento determinado y son responsables de la respuesta celular para un proceso específico dado un tejido en particular. La identificación formal del gen se obtiene por la secuenciación de ellos. Así, estas secuencias de transcritos de expresión (EST) se pueden usar para conocer la función y la organización del genoma. La purificación de RNA en distintos tiempos de tratamiento permite determinar el orden del patrón de expresión.

Como se ha descrito, la mayoría de las respuestas de compresión de la madera ocurren en el tejido del xilema. Para el efecto, se han construido genotecas de expresión de los genes expresados diferencialmente en xilema de coníferas (*Pinus taeda*, *Pinus pinaster*), los cuales se han depositado en las bases de datos públicas. Del mismo modo, se han clonado y analizado los genes expresados diferencialmente en la madera de tensión, tanto para eucaliptos como para álamo (chopo).

En ambas especies se han realizado estudios de expresión masiva (micromatrices), que han permitido el estudio simultáneo de 350 genes involucrados en la formación de madera en el pino (Egertsdotter y cols 2004; *Plant Biol.* 6:654-663) y 2 995 genes de álamo (Hertzberg y cols 2001; *Plant J.* 25: 585-591). En ambos casos se observó que hay expresión de los genes involucrados en la síntesis de celulosa y hemicelulosa en todo el periodo de crecimiento. Del mismo modo, estos estudios transcripcionales confirman las observaciones fenotípicas en relación a que los genes involucrados en la división celular, la elongación, la expansión y la síntesis de pectina se expresan preferentemente al inicio de la temporada, mientras que aquéllos involucrados en la síntesis de la lignina lo son en la temporada de verano, que se corresponde con la madera tardía. Los genes se expresan de manera secuencial y coordinada, facilitando la formación de la madera y permitiendo la respuesta celular en los procesos en los que se pierde la verticalidad de fuste. Esta respuesta ayuda a restituir el crecimiento vertical del ápice del tronco en lo que conocemos como respuesta gravitrópica.

## METALOPROTEINASAS DE LA MATRIZ EXTRACELULAR COMO DIANAS ANTINEOPLÁSICAS

Beatriz Martínez Poveda

Becaria de Investigación, Departamento de Biología Molecular y Bioquímica.

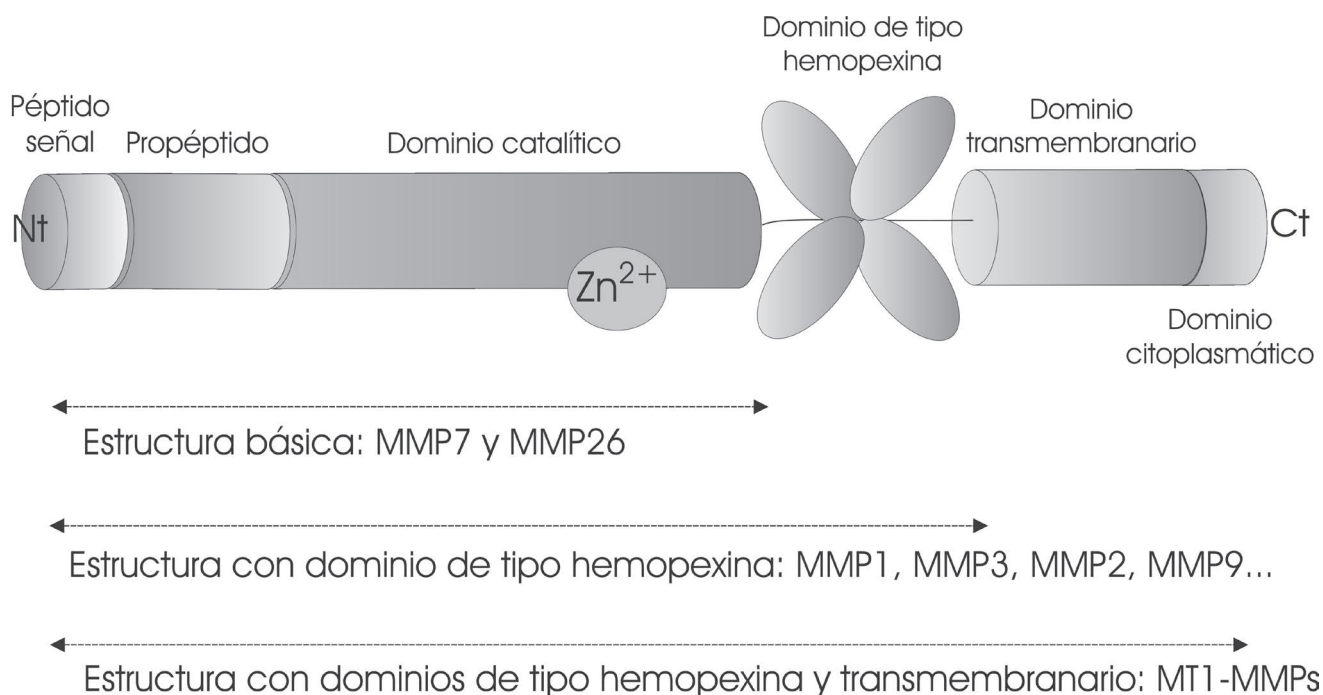
Imaginemos un tumor: todo comienza con acontecimientos puntuales en una célula sana que forma parte de un tejido. Esta célula va a ir desarrollando una serie de capacidades que constituyen el denominado fenotipo tumoral: a) la proliferación en ausencia de señales de crecimiento, b) la insensibilidad a las señales de parada de la proliferación, c) el escape de la apoptosis, d) la capacidad de replicación ilimitada, e) la activación continuada de angiogénesis y f) la invasión de los tejidos y la metástasis (*Hanahan y Weinberg, 2000 Cell, 100, 57-70*).

Muchos grupos de investigación estudian aproximaciones terapéuticas para frenar el desarrollo tumoral, fundamentándose en un riguroso estudio de los mecanismos moleculares que se dan en el tumor. Uno de los acontecimientos clave en la «malignización» del tumor es la degradación de la matriz extracelular (MEC). Pensemos que, tanto para el crecimiento del tumor como para la invasión del tejido, las células neoplásicas deben degradar los distintos componentes de la matriz en la que están embebidas. Igualmente, la degradación de la MEC es fundamental para la angiogénesis [formación de vasos sanguíneos a partir de la red sanguínea preexistente, (*I. Fajardo, 1997 Encuentros en la Biología, 38*)].

La MEC está formada por muchos componentes distintos interconectados que se pueden clasificar en tres grandes grupos: proteoglicanos y glucosaminoglicanos,

proteínas estructurales (como el colágeno y la elastina), y proteínas de adhesión (como la fibronectina y la laminina). Tal variedad de componentes requieren toda una familia de enzimas líticas para su degradación: las metaloproteinasas de matriz extracelular (MMP), que son endopeptidasas dependientes de zinc.

Se han descrito 24 genes distintos que codifican diferentes MMP; éstas se clasificaron en un primer momento en función de la especificidad del sustrato (colagenasas, gelatinasas, estromelinas y matrilisinas), pero actualmente se clasifican en función de la estructura de la enzima. La estructura básica de las MMP presenta una serie de dominios característicos: un péptido señal que dirige la secreción al exterior de la célula, un propéptido que mantiene a la enzima inactiva hasta que sufre un corte proteolítico y un dominio catalítico carboxiterminal que une zinc. Sobre esta estructura básica aparecen diversas variantes, como un dominio de tipo hemopexina que media en la especificidad del sustrato y las interacciones con inhibidores endógenos, o un dominio transmembranario en el caso de las MMP asociadas a la membrana plasmática (véase la figura). Así, en la clasificación estructural se distinguen ocho grupos: cinco grupos de MMP secretadas y tres de MMP asociadas a la membrana (MT-MMP por *membrane type MMP*) (*Egeblad y Werb, 2002 Nature Reviews Cancer 2, 163-176; Folgueras y cols., 2004 Int. J. Dev. Biol., 48,*



411-424).

Las MMP se sintetizan como zimógenos (inactivas) y es necesario activarlas con un corte proteolítico en el propéptido del dominio aminoterminal. El proceso de activación de las proMMP varía según la enzima, pero suelen intervenir otras proteasas, como el activador de plasminógeno del tipo urocinasa (uPA) y las propias MMP.

Como contrapartida a la actividad de las MMP, existen muchas moléculas endógenas capaces de inhibir su acción: los inhibidores hísticos de las metaloproteinasas (TIMP) y los inhibidores plasmáticos, como la macroglobulina  $\alpha_2$ . Además, las MMP están reguladas también tanto transcripcional como post-transcripcionalmente (estabilización del mRNA, glucosilaciones...), y su transcripción se induce en respuesta a las citocinas, los factores de crecimiento, los agentes químicos, el estrés físico, los oncogenes activados y las interacciones con la MEC. Con estas herramientas se ejerce una fina regulación de la actividad de las MMP y su acción se restringe a determinados procesos fisiológicos como el desarrollo embrionario, procesos reproductivos y la remodelación de los tejidos. Por el contrario, muchos estados patológicos están asociados a una desregulación de las MMP, entre ellos el cáncer.

En el cáncer, además de por razones estructurales relacionadas con el crecimiento de la masa tumoral y la invasión de los tejidos, la acción degradativa de las MMP sobre la MEC es muy importante porque es capaz de alterar las uniones célula-MEC y célula-célula, mediar la liberación, activación o desactivación de moléculas señalizadoras autocrinas o paracrinas (activadores de angiogénesis, por ejemplo) y activar o inactivar los receptores de la superficie celular (*Sternlicht y Werb 2001 Annu. Rev. Cell Dev. Biol. 17, 463–516*). En general, lo que hacen las MMP es crear un ambiente favorable para el desarrollo de un tumor, un microambiente que promueve la «malignización». Por este motivo, se estudian terapias antineoplásicas sobre la base de modificar la acción de las MMP. Existen muchas referencias en este sentido en las que se generan ratones transgénicos y genosuprimidos (*knock-out*) en los genes de las MMP, los cuales se usan como modelos para los estudios de desarrollo neoplásico, con lo que se identifican cuáles son las mejores dianas de uso terapéutico. Por poner algunos ejemplos, se ha visto que el ratón genosuprimido para *Mmp2* (*Mmp2<sup>-/-</sup>*) presenta un menor crecimiento tumoral y una disminución de la carcinogénesis pancreática; el ratón *Mmp9<sup>-/-</sup>* presenta una disminución de la carcinogénesis de la piel y del páncreas, y menos metástasis (para una revisión, véase *Folgueras y cols., 2004 Int. J. Dev. Biol., 48, 411-424*). El problema con este tipo de metodología es que existe una gran variedad de MMP, con lo que el bloqueo de una de ellas no suele ser suficiente para frenar su acción. Aún así, se obtienen resultados muy interesantes para su aplicación terapéutica. Las estrategias que se están usando para la inhibición de las MMP en terapia antineoplásica son

las siguientes:

- **Interceptar la transcripción para bloquear su síntesis.** Esto se consigue de tres maneras distintas: bloqueando la acción de factores extracelulares (la propia molécula o su receptor), bloqueando las rutas de transmisión de señales (vías de MAPK, p38MAPK, Ras o TGF- $\beta$ ) y bloqueando los factores de transcripción que controlan los promotores de las MMP (AP-1 y NF- $\kappa$ B, entre otros).

- **Impedir la activación de las proMMP.** Existen algunas MMP que juegan un papel muy importante en la activación de otras MMP, como es el caso de MT1-MMP: al bloquear la MT1-MMP se evita la activación de la cascada proteolítica. Existen, además, inhibidores directos de las MMP, como la trombospondina-1, que se une a la proMMP2 y la proMMP9 con lo que impide su activación. En este apartado se incluyen también las endostatinas y angiostatinas.

- **Inhibir la acción de las MMP activas.** Pueden emplearse varios métodos como el uso de TIMP, aunque aparecen problemas debido a que estas moléculas presentan otras funciones aparte de la inhibición de las MMP y, además, suelen tener un amplio espectro de acción, o como el uso de inhibidores sintéticos de MMP (MMPI) (*Folgueras y cols., 2004 Int. J. Dev. Biol., 48, 411-424*).

Aunque parece que estamos ante un método bastante bueno para atajar el crecimiento de un cáncer, las pruebas clínicas no siempre han tenido mucho éxito. Esto se debe a varios factores. Uno de ellos es que este tipo de pruebas suele hacerse en pacientes con tumores en fases muy avanzadas, en los que la vascularización del tumor está ya plenamente establecida, con lo que la inhibición de la angiogénesis por medio del bloqueo de las MMP no sirve de mucho. Hay que pensar que las MMP realizan un papel muy importante en las fases tempranas, con lo que la mayoría de las veces se están usando los tratamientos fuera de contexto. Además, hay que considerar otro aspecto muy importante: existen algunas MMP que tienen acción antiangiogénica. Es el caso de las metaloproteinasas con actividad de desintegrina con motivos de trombospondina (ADAMTS). Este subgrupo dentro de las MMP presenta en su molécula dominios del tipo trombospondina, y se ha visto que algunos de sus miembros son capaces de bloquear la activación de la angiogénesis inducida por el VEGF (factor de crecimiento del endotelio vascular, una de las importantes moléculas inductoras de angiogénesis), (*Iruela-Arispe y cols., 2003 Ann. N. Y. Acad. Sci. 995, 183-190*). Se dan muchos casos en los que las MMP liberan factores antiangiogénicos por degradación de los componentes de la MEC, como es el caso de las MMP2 y MMP9, que están muy implicadas en la progresión tumoral pero que, además, intervienen en la hidrólisis de plasminógeno para liberar angiostatina, un potente antiangiogénico. Otras, como la MMP8, están muy implicadas en procesos inflamatorios, de manera que los ratones genosuprimidos para su

gen presentan una respuesta inflamatoria anómala que propiciaría un ambiente favorable para el desarrollo de los tumores (*Gueders y cols., 2005 J. Immunol. 175 (4), 2589-2597*).

¿Significa todo esto que las aproximaciones terapéuticas anteriormente comentadas no son válidas? No se trata de eso, simplemente hay que estudiar en

profundidad todos los procesos en los que intervienen las MMP, así como establecer en qué fases del desarrollo tumoral está actuando cada una de ellas. De esta forma, y aplicando un diagnóstico preciso del estadio exacto del tumor a tratar, estos tratamientos podrán dar mejores resultados en un futuro esperemos que no muy lejano.

## COOPERACIÓN EDUCATIVA A TRAVÉS DE LA ANTROPOLOGÍA FORENSE ENTRE ENSEÑANZA SECUNDARIA Y UNIVERSIDAD

José Ramón Vallejo Villalobos\*, Diego Peral Pacheco\*\*,  
María Jesús Figuera Maynar\*\*\* y María Lamas García\*\*\*\*

\*Profesor Titular de Secundaria, Colegio Santa María Assumpta (Badajoz); \*\*Profesor Titular de Universidad, \*\*\*doctorando y \*\*\*\*estudiante, Facultad de Medicina, Universidad de Extremadura, Badajoz.

### Contexto

La Universidad de Extremadura, a través de las Áreas de Conocimiento de Medicina Legal y Forense y de Historia de la Medicina, comenzó un estudio bioantropológico forense en 2003 sobre los restos esqueléticos obtenidos de la intervención en la fosa común de la Guerra Civil española, situada en Valdihuelo, término municipal de San Vicente de Alcántara (Badajoz), entre las localidades de Alburquerque y San Vicente de Alcántara. Los resultados obtenidos hasta el momento de dicho estudio (Peral y Casado., 2004, En: «Memoria histórica y guerra civil: represión en Extremadura», Julián Chaves Palacios (coord.). Publicaciones de la diputación de Badajoz) han dejado patente que un número escaso de muestras están completas, que fueron sometidas a la acción del fuego y, además, estaban mezcladas con un gran número de restos esqueléticos de animales. Por todo ello, se encontró una gran dificultad técnica a la hora de catalogar y estudiar los restos óseos humanos remitidos al laboratorio. Se ha constatado la existencia de restos correspondientes, al menos, a 15 individuos de edades muy variables (niños muy pequeños, adultos jóvenes y mayores de 45 años). El estado tan fragmentado de dichos restos apuntaban a que una vez que los cadáveres estuvieron en la fosa, quedaron expuestos a la acción de explosiones y, posteriormente, se cubrirían con restos de animales que eran incinerados.

Desde febrero de 2004 y hasta el momento actual, han continuado los trabajos de clasificación y tratamiento de los restos óseos en la Facultad de Medicina. Debido a la ingente cantidad de animales arrojados desde aproximadamente 1939 en la mina de Valdihuelo, era necesaria la participación sistemática de un gran número de personas, y se esperaba que la tarea se prolongara durante bastante tiempo. En este sentido, los alumnos del Colegio Santa María Assumpta de Badajoz han jugado un papel muy importante acelerando, de forma muy significativa, los procesos como la limpieza y el

lavado de dichos restos. Al mismo tiempo, entre otras actividades, han realizado prácticas de identificación y análisis anatómico de huesos, tafonomía, anatomía comparada, zoopaleopatología y montaje de esqueletos animales.

### Objetivos

Los objetivos que se marcaron miembros de ambas instituciones para colaborar conjuntamente son los siguientes:

- 1.- Abordar los grandes temas transversales como la educación para la paz y la convivencia, la educación moral y cívica, y la educación para la salud partiendo de la Historia de la Guerra Civil española en Extremadura.
- 2.- Acercar al alumno de secundaria a la Ciencia a través del contacto con el ámbito universitario.
- 3.- Facilitar al profesorado y a los alumnos de secundaria la posibilidad de participar en las distintas fases de una investigación con los procedimientos y métodos necesarios.
- 4.- Desarrollar y fomentar en los alumnos una serie de procedimientos característicos de las ciencias, como el dominio de la observación, la actitud interrogativa, la objetividad y el análisis crítico.
- 5.- Elaborar materiales didácticos para el desarrollo de contenidos curriculares de ciencias que puedan adaptarse tanto al contexto escolar y universitario como al público en general.
- 6.- Fomentar la relación interpersonal, el compañerismo, el voluntariado social y propiciar situaciones donde se reconozca el punto de vista de los demás y se negocien conflictos.

En resumen, las metas han estado centradas en la ciencia, el desarrollo de capacidades de observación, indagación, representación y predicción a través del método científico.

### Selección de contenidos

Siguiendo el bloque de contenidos titulado «El hombre y la Salud» del currículo extremeño para Secundaria, se

seleccionaron los siguientes conceptos, procedimientos y actitudes para vincular la cooperación y colaboración entre las dos instituciones.

- 1.- El aparato locomotor: músculos y huesos.
- 2.- Realización de investigaciones y utilización de modelos para contrastar hipótesis.
- 3.- Reconocimiento e identificación de las principales estructuras y órganos que forman parte de los distintos aparatos o sistemas, indicando su función.
- 4.- Construcción e interpretación de un atlas de anatomía humana.
- 5.- Reconocimiento y aceptación de la existencia de conflictos interpersonales y grupales y valoración del diálogo como medida de salud mental para hacerles frente.
- 6.- Interés por el funcionamiento y utilidad de determinados aparatos médicos, y valoración de las nuevas técnicas de diagnóstico.
- 7.- Búsqueda de información en diversas fuentes (libros, periódicos, Internet, etc.) y elaboración de monografías.
- 8.- Tolerancia y respeto por las diferencias individuales que tienen su origen en características corporales como edad, talla, grosor, y diferencias físicas y psíquicas.

#### **Actividades**

Las actividades realizadas por los alumnos han sido planificadas teniendo en cuenta una taxonomía de capacidades basadas en la percepción (localizar, recordar, identificar...), el análisis (señalar, distinguir, clasificar, descomponer, descubrir, demostrar...), la síntesis (relacionar, comparar y resumir para llegar a una nueva estructura de conocimiento) y la aplicación (solucionar problemas, interpretar, extrapolar a situaciones nuevas con factores desconocidos, etc.). Se han realizado en cuatro contextos diferentes: en el laboratorio de Antropología Forense y Paleopatología de la Facultad de Medicina, en el aula y el laboratorio del colegio, así como en el campo.

En la Facultad de Medicina los alumnos han realizado prácticas de identificación y análisis anatómico de huesos (Isidro y Malgosa, 2003, Paleopatología. La enfermedad no escrita. Masson S. A.). Como ya se ha comentado anteriormente, los estudiantes de secundaria han jugado un papel muy importante en la clasificación y el tratamiento de los restos óseos de animales presentes en la mina de Valdihuelo, al acelerar de forma significativa procesos como la limpieza y lavado de dichos restos. Igualmente, han realizado prácticas de tafonomía, identificando y analizando la relación entre los restos cadavéricos y el entorno (Campillo y col., 2004).

En el aula y el laboratorio del colegio se han desarrollado los contenidos y se han realizado prácticas de anatomía comparada, zoopaleopatología y montaje de esqueletos animales que previamente se recogían

en el campo. Para el desarrollo de estas prácticas, el profesorado de secundaria elaboró diversos materiales de apoyo y, actualmente, trabaja en la preparación de claves dicotómicas, guías de identificación, fichas de anatomía e introducción a la zoopaleopatología. Estos materiales se están elaborando con el asesoramiento del profesorado de las Facultades de Medicina de la Universidad de Extremadura y la Universidad Complutense de Madrid.

En cuanto a las actividades relacionadas con temas transversales como la educación para la paz y la convivencia, la educación moral y cívica, se han realizado análisis y comentarios de textos utilizando como fuentes testimonios presentados en las jornadas sobre Memoria Histórica y Guerra Civil, celebradas en 2004 en la Facultad de Filosofía y Letras de Cáceres, así como la información presente en internet y las noticias aparecidas en la prensa local y regional.

Finalmente, queremos comentar que en el campo se han realizado tareas de prospección y búsqueda de restos esqueléticos de animales, así como la toma de datos para el análisis tafonómico en el laboratorio y aula del colegio. Los alumnos han tratado de estimar el tiempo transcurrido desde la muerte de los animales y los factores que han podido actuar sobre el cadáver. Se han intentado realizar aproximaciones a la causa de la muerte y se han determinado fenómenos postmortem. Igualmente, se han analizado los factores que pudieran influir en el grado de conservación de los materiales recogidos.

#### **Conclusiones**

- 1.- Las actividades desarrolladas han acercado a los alumnos participantes al mundo científico de una forma concreta.
- 2.- La motivación de los alumnos ha sido muy alta y ha repercutido en su rendimiento académico en el área de Ciencias de la Naturaleza.
- 3.- El profesorado universitario ha obtenido un conocimiento directo de cómo se realiza el proceso de enseñanza-aprendizaje en la enseñanza media.
- 4.- El profesorado de secundaria ha adquirido unos fundamentos y una metodología científica en el campo objeto de la experiencia.

El elevado grado de satisfacción del personal docente y del alumnado implicado en esta experiencia plantea la conveniencia de establecer convenios entre las universidades y los centros de secundaria. Estos convenios facilitarían, al menos, el desarrollo de los siguientes puntos: a) una mayor integración entre la ciencia y la sociedad, b) el fomento de la motivación y excelencia académica en los alumnos de secundaria, c) una visión directa en las universidades de cómo llegan los alumnos a la misma y d) la posibilidad de una continua actualización científica del profesorado de secundaria e, incluso, la del inicio de una carrera docente desde otra perspectiva.