

Octubre 2006, Número 112

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 **Etnobotánica: investigando en la escuela a través de la medicina popular**

José Ramón Vallejo Villalobos, Diego Peral Pacheco, Francisco Vázquez Pardo y Faustino Gordón Vázquez

5 **Aspectos bioéticos sobre las plantas transgénicas**

Zoraya De Guglielmo Cróquer.

6 **Hormonas tiroideas y osmorregulación en los teleósteos**

Ignacio Ruiz-Jarabo, Luis Vargas-Chacoff, Francisco Jesús Arjona, María del Pilar Martín del Río y Juan Miguel Mancera

Portada: Sección transversal de un tronco de pino torcido hacia la derecha, donde se observa la madera de compresión. M. G. Claros, F. R. Cantón, D. P. Villalobos y S. Díaz-Moreno. Dpto de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga.

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), ABW (AbiWord) 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.

ETNOBOTÁNICA: INVESTIGANDO EN LA ESCUELA A TRAVÉS DE LA MEDICINA POPULAR

José Ramón Vallejo Villalobos*, Diego Peral Pacheco**, Francisco Vázquez Pardo** y Faustino Gordón Vázquez**

*Profesor Titular de Biología y Geología. Colegio Santa María Assumpta de Badajoz. Avda. Pardaleras, 15-17. 06003 Badajoz (España). **Grupo de Investigación en Historia de la Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Extremadura. Avda. de Elvas s/n. 06071 Badajoz (España).

Introducción

En el año 2002 se comenzó a gestar la idea de una posible colaboración entre la Facultad de Medicina de la UEX (Universidad de Extremadura) y el Colegio Santa María Asumpta de Badajoz que podría traducirse en una serie de ventajas para los miembros de ambas instituciones. Dicha idea quedó plasmada en el III Congreso Mundial de Bioética (Cuenca, 2004) con la comunicación «Bioética y Educación Ambiental: estudio sobre el uso del agua en una comunidad educativa» y en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, 2005) a través de una aportación sobre Paleopatología.

El profesorado universitario implicado en estas experiencias fue tomando conciencia de una forma directa, personal y a través de relaciones docentes, del nivel de conocimientos y destrezas que alcanzan los alumnos de Secundaria. Por otra parte el profesorado de Enseñanzas Medias tuvo acceso a unas metodologías y a una actualización de conocimientos que permitieron nuevos enfoques de aula. El trabajo en equipo de ambos cuerpos docentes se fue concretando en el diseño de proyectos y materiales didácticos que pretendían conjugar el rigor y nivel científico con la adecuación pedagógica. A partir de estas primeras experiencias surgió la idea de realizar un estudio sobre Medicina Popular donde los alumnos de Secundaria aplicasen una metodología etnobotánica aprovechando la experiencia en este tipo de trabajos del Grupo de Investigación en Historia de la Medicina de la Facultad de Medicina de la UEX. Existen razones culturales que justifican estudios como el que se proyectaba, ya que la Medicina Popular forma parte de nuestro patrimonio y cuánto más tiempo pase sin la profundización de investigaciones en esta línea, mayor es la posibilidad de que perdamos una información antropológica importante. Este argumento queda reforzado por el hecho de que son las personas mayores las que tienen más conocimientos sobre este tema.

Actividades escolares

El trabajo que se esboza brevemente, ha sido subvencionado por la Caja de Extremadura dentro de la convocatoria de «Ayudas a Programas Culturales y de Investigación en Enseñanzas Medias» en colaboración con las Direcciones Provinciales de Cáceres y Badajoz durante el curso 2004-2005. Todo el estudio llevado a cabo se ha planteado desde el punto de vista de la recuperación del patrimonio, pero con una orientación decididamente

botánica. Se trataba de abordar una problemática clara que poseen muchos de los estudios realizados sobre Medicina Popular, ya que en nuestra geografía nos encontramos con multitud de nombres para definir a una misma planta y lo contrario: un nombre vulgar que se refiere a varias especies vegetales. En este sentido, al finalizar el trabajo quedó patente la idea etnobotánica de que identificar o recuperar el nombre popular de un remedio y su aplicación no es lo mismo que identificar o recuperar el propio remedio, ya que éste requiere la identificación de la especie vegetal. Un hecho educativo a destacar de forma significativa es que los escolares, inicialmente y de forma espontánea, se hayan planteado la necesidad de pasar a un soporte escrito el conocimiento que se transmite en el «Pueblo» para garantizar que perdure como parte de nuestro patrimonio cultural.

Previamente al trabajo de campo se definió Medicina Popular como el conocimiento o la aplicación de remedios naturales, dirigidos tanto a la prevención como a la curación, transmitidos fundamentalmente de forma oral, aunque algunos hayan sido descritos en la literatura. Debido a ello, en el catálogo de remedios obtenidos existen muchos de origen no vegetal. Posteriormente se diseñó un protocolo de investigación con un cuestionario para catalogar, describir y analizar el conocimiento y el uso de remedios populares para curar o prevenir enfermedades en Extremadura.

Los alumnos trabajaron con el método científico teniendo en cuenta que se pretendía realizar un estudio descriptivo y en el aula se realizaron debates sobre los elementos que podrían influir en el conocimiento de la Medicina Popular. La edad fue la variable en la que coincidieron un mayor número de alumnos, de tal forma que la mayoría estaban de acuerdo que a mayor edad habría un mayor conocimiento y utilización de la Medicina Popular. A partir de esta hipótesis y por la mayor cantidad y calidad de la información que se pudiera obtener se decidió encuestar personas de más de 65 años. También se discutió cómo la edad podría estar relacionada con determinadas enfermedades crónicas y con el escaso o nulo resultado terapéutico convencional para muchas de ellas. Otras de las hipótesis planteadas fue que, probablemente, las mujeres conocerían mejor la Medicina Popular debido a su condición tradicional de ama de casa y a la estrecha relación madre-hijo o el estado de salud de los hijos. En cuanto al lugar de nacimiento, se reflexionó sobre la posibilidad de que las personas que hubiesen nacido o vivido en zonas rurales tuviesen un mayor

Tabla I: Algunos ejemplos de remedios obtenidos y su uso terapéutico tradicional en Extremadura.

REMEDIO	USO TERAPÉUTICO
Aguardiente de pepino <i>Cucumis sativus L.</i>	Dolor de barriga (molestias digestivas, cólicos)
Apio <i>Apium graveolens L.</i>	Estreñimiento, gases, molestias de estómago
Bulbos de lirio <i>Iris sp.</i>	Hemorroides
Ceborrancha <i>Urginea maritima (L.) Baker</i>	Hemorroides
Esparto <i>Stipa tenacissima L.</i>	Verrugas
Hierba de limón <i>Melissa officinalis L.</i>	Nervios, para la digestión
Malva <i>Malva sylvestris L.</i>	Forúnculos, granos ciegos, abscesos, golpes, heridas, dolores, estreñimiento, vesícula, inflamaciones
Manzanilla brava (flores) <i>Anthemis arvensis L.</i>	Dolor de barriga (molestias digestivas, cólicos)
Manzanilla mansa (flores) <i>Chamomilla recutita (L.)</i>	Dolor de barriga (molestias digestivas, cólicos)
Menta poleo <i>Mentha pulegium L.</i>	Para la falta de energía
Pepino <i>Cucumis sativus L.</i>	Suavizar el cutis
Poleo bravo <i>Mentha suaveolens Ehrh.</i>	Dolor de barriga (molestias digestivas, cólicos)
Té moruno <i>Bidens aurea (Aiton) Sherff</i>	Dolor de barriga (molestias digestivas, cólicos), para la falta de fuerza, para tener más energía
Tila brava <i>Crataegus monogyna Jacq.</i>	Nervios

conocimiento de la Medicina Popular que las personas de las zonas urbanas. El estado de salud fue otro factor que se tuvo en cuenta en los análisis preliminares y se supuso a priori que la frecuencia de enfermar, padecer enfermedades crónicas o con pocos o ningún recurso terapéutico por parte de la medicina convencional, predispondría a un mayor conocimiento y utilización de la Medicina Popular.

Tras esta primera fase de debate, discusión y planteamiento de hipótesis se desarrolló un protocolo de investigación. Una de las finalidades en dicho protocolo era que los estudiantes preparasen cuidadosamente todas las fases de la entrevista y que fueran poco a poco reflexionando sobre el método científico y sobre las técnicas de encuesta.

Una vez cumplimentadas las entrevistas, y tras concluir todo el trabajo de campo, los alumnos estuvieron clasificando el material etnobotánico. Los herbarios fueron realizados por grupos de alumnos siguiendo las instrucciones habituales en la preparación de los mismos. Las plantas habían sido recolectadas cortando fragmentos de

tallos en los que se encontraban representadas hojas, flores y frutos siempre que fue posible. El material recogido era prensado y, una vez secos los especímenes, se montaban y etiquetaban para su mantenimiento y conservación en el laboratorio.

Los datos obtenidos han permitido que los escolares hayan comprobado la existencia de un conocimiento oral que puede llegar a extinguirse, recogiendo 351 remedios populares (véase la Tabla I) correspondientes a 97 localidades extremeñas para el tratamiento de 80 dolencias que fueron prospectados entre 614 cuestionarios. Se ha comprobado que todavía perduran, al menos como conocimiento teórico, remedios con carácter mágico basado en oraciones, ensalmos o rituales, o utilizando restos corporales. A modo de ejemplo, se pueden citar los remedios para tratar verrugas:

a) Coger tantas hojas de encina como verrugas se tenga, que se colocarían en un sitio por donde nunca se volvería a pasar.

b) Antes de que amanezca se cogen tantos garbanzos como verrugas se tenga y se tiran a un pozo.

c) Aplicarse en las verrugas sangre menstrual.

d) Tomar el doble de hojas de olivo que de verrugas y hacer con cada dos una cruz, rezar tantos Padrenuestros como cruces que se colocan en un sitio y marcharse de espalda.

También se han recogido remedios animales referidos en la literatura como el del «simbúscalo» que describe Yolanda Guío, en su libro *Naturaleza y Salud en Extremadura* como una especie de larva utilizada para prevenir el dolor de muelas. Esta autora relata el testimonio de una persona de Alburquerque (Badajoz) que le narra lo siguiente:

«Es un bicho que le llaman un simbúscalo... porque te lo encuentras cuando menos pienses, te pones a buscarlo y no lo encuentras, esto te lo tienes que encontrar un viernes, dicen los viejos, te lo metes en el bolsillo, y no te vuelven a picar las muelas». Hemos podido constatar de que se el denominado «simbúscalo» se trata de una ooteca de Mantis religiosa, es decir, una envoltura que reúne y protege los huevos de estos insectos.

Otro hecho a destacar es la importancia en la cultura popular de los alimentos e ingredientes como elementos curativos, donde destacan la «fuerza» de la miel, el tomate o el tocino para curar muchas dolencias o afecciones. Curiosamente hay muchas personas que indican, como remedio para los «diviesos» o granos ciegos, dichos alimentos.

Conclusiones

La evaluación positiva de los conocimientos adquiridos por los alumnos sobre el método científico, junto con su grado de satisfacción personal, apuntan a una clara idoneidad del método de proyectos en la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Por otra parte, también se puso de manifiesto la gran importancia de la interdisciplinariedad, así como la gran fuerza pedagógica y didáctica que adquieren los contenidos biológicos cuando se relacionan con contenidos de las Ciencias Sociales de tipo etnográfico o antropológico. De igual forma, cabe comentar que

los proyectos de Recuperación del Patrimonio pueden representar una fuente importante de motivación para el profesorado y el alumnado de Secundaria, por lo que

se propone desde este foro una mayor implicación de la Escuela en los mismos.

ASPECTOS BIOÉTICOS SOBRE LAS PLANTAS TRANSGÉNICAS

Zoraya De Guglielmo Cróquer.

*Estudiante del Postgrado en Botánica, Instituto de Biología Experimental, Universidad Central de Venezuela.
Zona postal 1041-A. Los Chaguaramos, Caracas (Venezuela).*

La biotecnología y la manipulación genética proporcionan la posibilidad de modificar las propiedades o el comportamiento de las plantas en relación con una característica de interés a través de la introducción de nuevos genes que no podrían transferirse por sistemas de mejoramiento convencional. Actualmente, el principal reto es aumentar la producción agrícola para dar respuesta a la creciente demanda de alimentos y materias primas de origen vegetal, con sistemas que reemplacen las prácticas agrícolas destructivas y nocivas por otras más inocuas o inofensivas para el mediambiente y que favorezcan el bienestar de las comunidades. La aplicación de técnicas modernas de bioingeniería de cultivos, cuidadosamente seleccionadas y utilizadas, pueden facilitar el desarrollo de variedades resistentes a plagas y enfermedades cuyo control es actualmente difícil y costoso. Desde este punto de vista, las técnicas de manipulación genética para mejoramiento de los cultivos son altamente compatibles con los objetivos del desarrollo sostenible porque permiten la reducción en el uso de productos químicos para el control de las plagas y las enfermedades, así como el uso eficiente de los biofertilizantes.

Sin embargo, dado que con la biotecnología se puede alterar la composición génica de los organismos y los efectos posibles sobre la agricultura, el comercio, el ambiente, la biodiversidad y la sociedad, han surgido preocupaciones que se han traducido en regulaciones de la investigación y desarrollo de la biotecnología. En tal sentido, la **bioseguridad** se refiere a las políticas y mecanismos que se establecen para prevenir posibles riesgos de la tecnología del ADN recombinante y de la transformación genética de plantas en la salud, el medio ambiente y la biodiversidad. Estas regulaciones comenzaron a ser autoimpuestas por la propia comunidad científica

desde 1975 y, posteriormente, las instituciones oficiales de salud, alimentos y ambientales de varios países crearon regulaciones para evaluar los riesgos de plantas transgénicas, especialmente al realizar ensayos de campo. Es importante mencionar que la evaluación de riesgo es un paso científico y depende de la estrategia de transformación, mientras que la gestión del riesgo es institucional y depende de cada país. En relación al factor riesgo, hay que considerar que la ingeniería genética incrementa mucho el factor precisión respecto a la composición de las secuencias foráneas (gen de interés, promotor, secuencias de terminación, gen marcador de selección). A mayor precisión, se espera mayor predictibilidad del resultado de la recombinación genética mediante mejoramiento por transformación, incluso en comparación con la recombinación que se obtiene en el mejoramiento convencional. En la tabla I se muestra el número de ensayos de campo con plantas transgénicas y las áreas sembradas con cultivos transgénicos comerciales entre 1986-1997. Para ese entonces se estimaba que en el año 2006, el 60% de los productos derivados de soja y el 80% de los del maíz tendrían su origen en cultivos transgénicos a nivel global.

Punto de vista sanitario

Desde el punto de vista sanitario, se ha considerado el riesgo teórico de que el gen de selección de una construcción genética utilizada para la transformación de las plantas pase directa o indirectamente a las bacterias del tubo digestivo humano. Esto implica el flujo genético del material transformado, que puede ser horizontal (transferencia de los genes de un organismo a otro no relacionado, por ejemplo, de las plantas transformadas a los microorganismos del tubo digestivo) o vertical (transferencia de los genes entre los organismos de una misma especie, por ejemplo, de una planta transgénica a una silvestre). Sin embargo,

nunca se ha demostrado que un gen consumido por vía oral se haya transmitido a una bacteria del tubo digestivo. También se han realizado estudios basados en el seguimiento del alimento transgénico a su paso por el tubo digestivo, observándose que desde que se ingiere el alimento (transgénico o no) comienza un proceso de

Tabla I: Número de ensayos de campo para evaluación de bioseguridad

Periodo	Nº de países	Nº de cultivos	Nº de caracteres	Nº total de ensayos
1986-95	34	56	6	15000
1996-97	45	60	10	10000
Total 1986-97	45	60	10	25000

Cultivos comerciales transgénicos (en millones de hectáreas)

Año	1996	1997	1998
Total	3	13	30 (*)

(*) Los países desarrollados (USA y Canadá) representan el 85% del total; los países en desarrollo representan el 15% (Argentina con 4 millones de hectáreas y México con 1 millón). [Roca y Ramirez (2000). Introducción a la biotecnología. CEDAF, Santo Domingo:156].

degradación del ADN por las ADNasas de la saliva, seguido por la acción de los jugos gástricos, y cuando ocurre la absorción en las microvellosidades intestinales, el ADN está total o casi completamente degradado; lo que no se ha degradado en este punto es, entonces, fagocitado. Por otra parte, regularmente se consumen alrededor de 1,1 g diarios de ADN procedentes de plantas y otros animales, y aún no se ha descrito ni un caso de transformación. Desde este punto de vista, ingerir un producto transgénico puede ser tan perjudicial o beneficioso como ingerir uno no transgénico [Sánchez, M. Revista Científica UDO Agrícola, 3(1): 1-11 (2003)].

En cuanto al flujo de transgenes desde cultivos transgénicos a malezas o plantas silvestres emparentadas, se debe evaluar el riesgo caso por caso, dependiendo de la cercanía taxonómica, la proximidad del cultivo a los sitios de variabilidad nativa, el grado de polinización cruzada, la duración de vida del polen después de la dehiscencia, la sincronización de la floración, la presencia de insectos u otro tipo de vectores, etc.

Otro aspecto sanitario es el relacionado con la aparición de alergias por el consumo de alimentos transgénicos, lo cual no debería ocurrir si consideramos la escasa probabilidad de que se produzca el flujo genético. En este sentido, pueden producirse dos respuestas: la «alergia a la comida» (*food allergy*) asociada a las reacciones adversas del sistema inmunitario frente a algún componente o proteína de los alimentos y la «intolerancia a la comida» (*food intolerance*), que es una reacción adversa a la comida en la que no participa el sistema inmunitario. En este punto, las investigaciones sobre bioseguridad deben enfocarse en los mecanismos de reacciones alérgicas y los métodos de detección de los principales alérgenos. Además, como una medida de protección, las organizaciones de consumidores y ecologistas han solicitado que los productos transgénicos se identifiquen convenientemente con sus características y componentes [Lacadena (2001). Plantas y alimentos transgénicos; <http://cerezo.pntic.mec.es/~jlacaden/Ptransg2.html>].

Punto de vista ecológico

Desde el punto de vista ecológico, se ha denunciado la posibilidad de que, al crear las variedades transgénicas

resistentes a herbicidas, se incrementará notablemente el uso de éstos, con los posibles efectos secundarios negativos de contaminación del suelo y del agua.

Por otro lado, en las especies alógamias (de fecundación cruzada) existe la posibilidad de que una parcela sembrada con plantas transgénicas contamine con su polen otras parcelas vecinas no transgénicas del mismo cultivo. En este sentido, es importante extender, de una manera estricta y vigilada por las autoridades competentes, todos los cuidados y medidas que se toman en las parcelas experimentales en relación al aislamiento, como por ejemplo las distancias, barreras naturales y las mallas protectoras de los sembradíos. Birch (1997) [Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 48: 297-326], señala que se deben seguir las siguientes normas de seguridad:

1.- Hacer el registro en el comité de bioseguridad correspondiente.

2.- En el laboratorio: acceso restringido y atención en la gestión de los desechos.

3.- En el invernadero: acceso restringido, mallas de protección, letreros claros y visibles de identificación, alfombras clínicas (impregnadas de solución antiséptica) dentro y fuera de los viveros, cortina de aire vertical en la entrada, reciclaje de basura, control de desechos de agua, extractos de aire con mallas antiácaros y antiáfidos.

4.- En el campo: áreas de separación mayores de 30 cm para evitar el flujo genético de las plantas transgénicas a las no transgénicas por polinización, establecer una barrera biológica (por ejemplo, pasto elefante de 6-8 m de altura), sistemas de irrigación bien controlados, monitorización constante, acceso restringido con vigilancia permanente, mallas protectoras sobre las semillas transplantadas, recolección e incineración del material postcosecha.

Es fundamental, además, que en cada país se integren y capaciten instituciones abocadas al establecimiento de leyes que regulen, controlen y reglamenten la producción, importación, exportación, identificación, selección, evaluación y siembra de cultivos y/o alimentos transgénicos, al mismo tiempo que se prepara e instruye a la población en general sobre los organismos modificados genéticamente (OMG) y sus posibles efectos en los planos individual, mundial, ambiental, cultural, industrial y ecológico.

HORMONAS TIROIDEAS Y OSMORREGULACIÓN EN LOS TELEÓSTEOS

Ignacio Ruiz-Jarabo#, Luis Vargas-Chacoff*, Francisco Jesús Arjona*, María del Pilar Martín del Río¶ y Juan Miguel Mancera¶

Alumno de Tercer Ciclo del Programa de Doctorado «Ciencias del Mar» (Universidad de Cádiz),

* *Becarios predoctorales y ¶ Profesores Titulares del Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz*

El sistema endocrino de los teleósteos involucra numerosas glándulas, cuyas secreciones hormonales controlan diversos procesos fisiológicos del animal. Dentro de estas glándulas destaca la glándula tiroidea, cuya hormonas controlan aspectos relacionados

con metabolismo, metamorfosis, osmorregulación, esmoltificación en salmónidos, reproducción, etc (véase más abajo). Por este motivo, el conocimiento de la fisiología del sistema tiroideo es esencial para poder comprender los procesos que dichas hormonas controlan en los teleósteos.

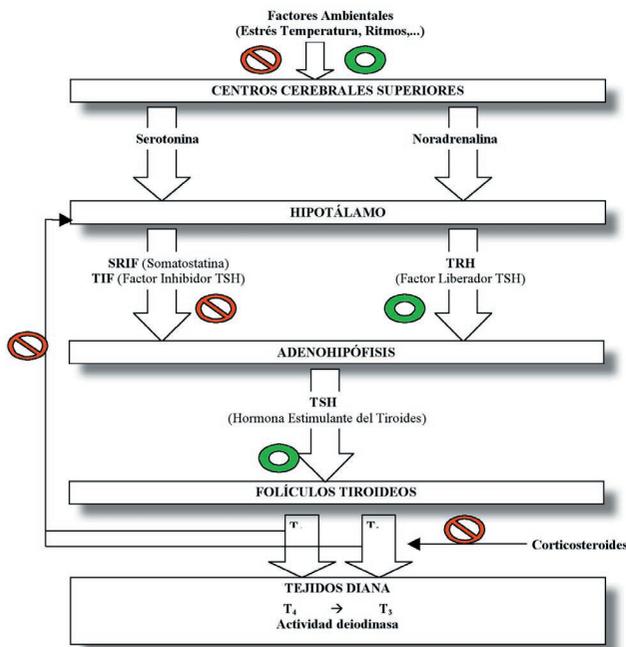


Figura 1: Esquema del eje hipotálamo-hipofisario-tiroideo (modificado de Norris 1997).

Además, en este grupo de animales, la fisiología del sistema tiroideo presenta interesantes diferencias respecto al modelo de los mamíferos (actividad de síntesis hormonal, sistema de transporte a nivel plasmático, actividades desoyodadas en los órganos periféricos, etc.), que se hace necesario profundizar en dicho estudio.

La glándula tiroidea de los teleósteos

La glándula tiroidea deriva de la porción del endodermo cefálico del tubo digestivo del embrión (endodermo de la base de la faringe). En los teleósteos no existe una organización típica de la glándula. Los folículos se encuentran aislados o bien formando pequeños grupos dispersos en el tejido conjuntivo debajo de la faringe. Sin embargo, la distribución es bastante aleatoria debido a que la glándula no se encuentra encapsulada por el material conjuntivo [Gorbman et al. Comp. Endocrinology. John Wiley & Sons, NY (1983); Norris. Vertebrate endocrinology. Academic Press, San Diego (1997)].

El tejido tiroideo está compuesto por un epitelio cuboide dispuesto en una sola capa que limita los espacios esféricos llenos de una sustancia coloidal. Esta estructura forma folículos tiroideos de diámetro variable según la especie y el estado funcional del tiroides. Los folículos tiroideos son la unidad básica de la glándula tiroidea. De esta forma, en la glándula tiroidea con células foliculares activas (forma cúbica), el tamaño del lumen disminuye, mientras que si contiene células inactivas (formas aplanadas) aumenta el lumen. El tiroides se encuentra muy vascularizado y presenta capilares fenestrados para facilitar el paso de las hormonas tiroideas (T_3/T_4) hacia los vasos [Handley. Endocrinología, 4ª edición. Prentice Hall, ed. Simon and Schuster Int. Group (1997)].

Síntesis de las hormonas tiroideas

La síntesis folicular de las hormonas tiroideas está

regulada por la acción de la tirotrópina u hormona estimulante del tiroides (TSH). La estimulación del tiroides por la TSH tiene como resultado un gran aumento en la cantidad y actividad de la maquinaria sintética (retículo endoplasmático rugoso y aparato de Golgi) de las células foliculares. Las células adquieren una forma columnar y el contenido luminal del coloide disminuye en gran medida. En ausencia de la TSH, la síntesis de las hormonas tiroideas es mínima o, simplemente, no existe [Handley. Endocrinología, 4ª edición. Prentice Hall, ed. Simon and Schuster Int. Group (1997)]. La TSH interacciona con sus receptores de la membrana de la célula folicular y, gracias a la acción del segundo mensajero (AMPC), origina la respuesta celular.

Eje hipotálamo-hipofisario-tiroideo

La secreción de las hormonas tiroideas se encuentra bajo control del llamado eje hipotálamo-hipofisario-tiroideo. En el hipotálamo existen neuronas que sintetizan, transportan y liberan a la neurohipofisis diversos factores que estimulan (TRH: hormona estimulante de la TSH) o inhiben (Somatostatina, TIF: factor inhibidor de la TSH) las células tirótropas localizadas en la *pars distalis proximalis* de la adenohipofisis. La TSH es sintetizada por dichas células y, gracias al torrente circulatorio, alcanza la glándula tiroidea, donde estimula la síntesis y liberación de las dos hormonas tiroideas (T_3 y T_4) a la sangre. Estas hormonas tiroideas son de naturaleza lipófila, y pueden atravesar la membrana plasmática y llegar al citoplasma donde la T_4 se convierte en T_3 (forma activa de la hormona) gracias a la actividad desoyodasa. La T_3 atraviesa la membrana nuclear para interactuar con su receptor, que se encuentra en el núcleo. Una vez que se ha unido a su receptor, el complejo hormona-receptor se une a los elementos de respuesta tiroidea específicos presentes en los genes regulados por las hormonas tiroideas.

El sistema nervioso central integra diversos factores ambientales y se encarga de la estimulación del eje hipotálamo-hipofisario-tiroideo con un incremento de la liberación de T_3 y T_4 . Además, en todo el eje existen varios mecanismos de retroalimentación negativa que permiten un estricto control del sistema (véase la figura 1).

Funciones de las hormonas tiroideas

Las funciones de las hormonas tiroideas se han modificado a lo largo de la línea evolutiva, pero, muy resumidamente, podemos agruparlas en dos grandes tipos de acciones: a) morfológicas y madurativas (crecimiento y diferenciación) y b) metabólicas (metabolismo de carbohidratos, lípidos, nitrógeno, etc). Las distintas funciones fisiológicas en las que intervienen las hormonas tiroideas en los teleósteos se representan en la tabla I [Gorbman et al. Comp. Endocrinology. John Wiley & Sons, NY (1983); Norris. Vertebrate endocrinology. Academic Press, San Diego (1997)].

Hormonas tiroideas y osmorregulación

En los teleósteos existen resultados contradictorios acerca del papel que juegan las hormonas tiroideas en los procesos osmorreguladores. Los receptores de las hormonas

Tabla I: Funciones fisiológicas de las hormonas tiroideas en los teleósteos (tomado de Gorbman, 1983 y Norris, 1997).

OSMORREGULACIÓN	-Estimulación de la actividad Na^+, K^+ -ATPásica branquial. -Estimulación de la esmoltificación en los salmónidos.
NUTRICIÓN	-Estimulación del consumo de comida.
METABOLISMO	-Estimulación del metabolismo intermediario: incremento del consumo de oxígeno, anabolismo proteico, lipólisis e hiperglucemia.
PIGMENTACIÓN	-Aclaramiento de la piel.
CRECIMIENTO Y DESARROLLO	-Estimulación de la metamorfosis en los peces planos. -Estimulación del crecimiento (sinergismo con la GH).
REPRODUCCIÓN	-Estimulación del desarrollo y la maduración gonadal.
MIGRACIÓN	-Disminución de la actividad natatoria y del comportamiento. -Cambios de comportamiento asociados a la migración al mar.

tiroideas se han encontrado, mediante estudios de ligandos y técnicas moleculares, en branquias, riñones e intestino. Esto podría sugerir que estas hormonas intervienen en los procesos osmorreguladores [Peter et al. Gen. Comp. Endocrinol. 120: 157-167 (2000); Shameena et al. Endocr. Res. 26: 431-444 (2000)].

En los salmónidos, el sistema tiroideo es importante durante el proceso de esmoltificación. En este proceso los salmones que viven en el río (agua dulce) comienzan una migración hacia el mar, y presentan una serie de cambios osmorreguladores que les permitirán vivir en el agua salada. Durante la esmoltificación se aprecia un incremento en la cantidad plasmática de la T_3 . En algunas especies, las inyecciones repetidas de la T_4 inician el proceso de migración hacia el mar, aumentan la actividad Na^+/K^+ -ATPásica branquial, el número de células de cloruro (células encargadas de eliminar el exceso de cloruro sódico a nivel plasmático), así como la capacidad de adaptación a los ambientes de elevada salinidad [McCormick. Fish Physiology. Academic Press. San Diego, CA. 14: 285-315 (1995)].

Sin embargo, en los peces no salmónidos, la función del tiroideo en los procesos osmorreguladores no está clara. Con tratamientos con la tiourea (antagonista del sistema tiroideo) se ha visto que una tiroideo funcional es esencial para la supervivencia de *Fundulus heteroclitus* en el agua de mar [García et al. Gen. Comp. Endocrinol. 135: 201-209 (2004)]. Sin embargo, los tratamientos sólo con la T_3 no aumentaron la actividad Na^+/K^+ -ATPásica branquial y la tolerancia salina de esta especie [Mancera and McCormick. Fish Physiol. Biochem. 21: 25-33 (1999)]. En las tilapias, *Oreochromis mossambicus*, tratadas con la T_4 no se apreciaron efectos sobre el sistema osmorregulador, mientras que una mezcla de T_4 y cortisol incrementó la actividad Na^+/K^+ -ATPásica branquial [Dange. Gen. Comp. Endocrinol. 62: 341-343

(1986)]. Algunos autores apuntan a que la influencia de las hormonas tiroideas sobre la estimulación de la actividad Na^+/K^+ -ATPásica branquial y las células de cloruro, se debe posiblemente a la interacción sinérgica de estas hormonas con las hormonas del eje GH/IGF-I o el cortisol [McCormick. Fish Physiology. Academic Press. San Diego, CA. 14: 285-315 (1995); Mancera y McCormick. Fish Physiol. Biochem. 21: 25-33 (1999)].

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que, para el conocimiento del papel de las hormonas tiroideas en los procesos osmorreguladores, se hace necesario el estudio de los procesos de desyodación en el hígado, las branquias y los riñones. Estos procesos permiten el paso de T_4 a T_3 en el citoplasma, que es la forma biológicamente activa de las hormonas tiroideas.

A modo de conclusión

Aún no están del todo claras las funciones osmorreguladoras de las hormonas tiroideas en los teleósteos. Sin embargo, diversas pruebas indican que controlan los procesos osmorreguladores, bien solas o bien en cooperación con otras hormonas (GH y cortisol), y que participan en los procesos fisiológicos de adaptación a las diferentes salinidades ambientales. Nuestro grupo está realizando experimentos para medir actividades enzimáticas asociadas al eje tiroideo en distintas condiciones osmóticas, niveles de expresión de las distintas desyodasas (tipo I, II y III) en el hígado, el riñón y las branquias, así como diseños experimentales donde se evalúe la posible cooperación de las hormonas tiroideas con otras hormonas, como el cortisol o el eje GH/IGF-I, en los procesos osmorreguladores del lenguado (*Solea senegalensis*) y la dorada (*Sparus auratus*). Los resultados podrán dar nueva información sobre la importancia osmorreguladora de las hormonas tiroideas en los peces eurihalinos.