

# 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),  
Dept. Biología Molecular y Bioquímica,  
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 Células madre: la terapia del futuro (I)

*María D. Cuenca-López, José Becerra y  
José A. Andrades*

### 5 Neuronas especulares («mirror neurons»)

*José Carlos Dávila*

### 6 Breve historia de la Ecología: vicisitudes y pretensiones de una nueva ciencia (II)

*José Mª Blanco Martín*

**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. Depto 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.

## CÉLULAS MADRE: LA TERAPIA DEL FUTURO (I)

María D. Cuenca-López(#), José Becerra (§) y José A. Andrades (†)

(#) Becaria postdoctoral, (§) catedrático y (†) profesor titular del Departamento de Biología Celular, Genética y Fisiología: Laboratorio de Bioingeniería y Regeneración de Tejidos (LABRET), Universidad de Málaga.

### *¿Qué son las células madre?*

Las células madre, o más correctamente células troncales (denominación más estricta, traducida del inglés *stem cell*), se distinguen de cualquier otro tipo celular en las siguientes características: en primer lugar, poseen capacidad de dividirse para originar nuevas células madre (lo que se conoce como autorrenovación), constituyendo por tanto una fuente de estas mismas células; en segundo lugar, poseen la potencialidad de diferenciarse, bajo determinadas condiciones, hacia distintos linajes celulares (lo que se conoce como plasticidad), como por ejemplo: células neuronales, hepáticas, epiteliales, musculares, óseas, etc.

Las células madre participan activamente en el desarrollo embrionario pero también continúan presentes en los organismos adultos. En general, se pueden clasificar en tres tipos:

a) Células madre **embrionarias**, que son aquellas que constituyen la masa interna del blastocisto temprano (de 4-5 días en el caso del humano). Estas células pueden diferenciarse en los diferentes tipos celulares procedentes de cualquiera de las tres hojas blastodérmicas: ectodermo, endodermo y mesodermo.

b) Células madre **germinales** o **fetales**, que tienen parecidas potencialidades que las anteriores y que pueden encontrarse en la llamada cresta gonadal de los fetos humanos de 5 a 10 semanas. De ellas se derivarán las células gaméticas durante la vida fértil del individuo.

c) Células madre **somáticas** o **del adulto**, que se encuentran en el individuo adulto durante toda su vida postnatal y son capaces de responder a estímulos regenerativos e iniciar un proceso de autorrenovación, tras el cual algunas de ellas son capaces de diferenciarse hacia linajes especializados, propios del tejido en el que se encuentran, es decir, de la misma hoja blastodérmica de la que procede el órgano que las alberga.

Según la plasticidad de las células madre, éstas pueden ser totipotentes, pluripotentes o multipotentes. Las **totipotentes** son aquellas capaces de originar un individuo adulto completo. Sólo las células en una fase muy temprana del embrión (por ejemplo, las células de la morula) poseen esta capacidad. Las **pluripotentes** son de capacidad más restringida, pues pueden originar cualquier tejido u órgano, excepto los anejos embrionarios y, por tanto, no pueden dar lugar a un individuo adulto completo. Estas células se encuentran en la masa celular interna del blastocisto, nombre que recibe el embrión en una fase temprana de su desarrollo, antes del anidamiento o implantación intrauterina. Y las **multipotentes**, que están

presentes en diferentes tejidos u órganos del organismo adulto, a diferencia de las anteriores que sólo aparecen en el embrión. Son capaces de originar diferentes tipos celulares, aunque restringido a la hoja blastodérmica de la que procede el tejido en el que se encuentran.

Como fuente de células madre en el individuo adulto destaca la médula ósea (MO), donde se encuentran células que van a generar todos los tipos celulares de la sangre y del sistema inmunitario (proceso denominado hematopoyesis). En la MO radican también las células que no participan en la formación de la sangre, sino que son capaces de originar células mesenquimales (proceso conocido como mesengénesis). No obstante, existen otras fuentes de células madre en muchos otros órganos del cuerpo humano como, por ejemplo, las aisladas de la piel, la grasa subcutánea, el músculo cardíaco y esquelético, el cerebro, la retina, el páncreas, etc. Otra fuente de células madre interesante es el cordón umbilical de los recién nacidos, cuya potencialidad podría encontrarse entre la de las células embrionarias y las del individuo adulto.

Hasta ahora, ha existido la creencia generalizada de que estas células madre específicas de órgano en el adulto se limitan a generar sólo los tipos celulares de la hoja blastodérmica de la que procede el tejido donde se encuentran: son células multipotentes. Sin embargo, la reciente publicación de numerosos estudios ha hecho cambiar esta visión de las células madre específicas de órgano, lo que hace evidente que células madre adultas procedentes de cualquier tejido pueden diferenciarse a células y tejidos de otras localizaciones y estirpes distintas. Estos experimentos han demostrado que las células madre de un adulto, cultivadas y sometidas a ambientes distintos a los habituales, pueden reprogramarse (proceso conocido como transdiferenciación) y dar lugar a otros tipos celulares que hasta ahora se pensaba que eran incapaces de generar. Es decir, ya no serían multipotentes, si no pluripotentes. Si esto es así, se podría decir que no existe una diferencia esencial entre la célula madre embrionaria y la del adulto.

### *Aspectos legales de la utilización de las células madre*

A pesar de la capacidad de las células madre adultas multipotentes, que incluso podrían desdiferenciarse como se ha señalado anteriormente y convertirse en una célula pluripotente, no cabe duda que el potencial regenerador de una célula madre embrionaria va a ser siempre superior; esta es, en principio, la justificación que sustentan los defensores de la investigación con células madre embrionarias humanas, las causantes de no poca polémica social, ética y legal.

A finales de 1998, el Dr. James Thomson publicaba un trabajo en el que, por primera vez, se anunciaba la generación de líneas celulares estables a partir de células madre embrionarias humanas, algo que muchos años antes se había conseguido en ratones. A partir de aquí, surgió el dilema ético que representaba la utilización de los embriones humanos con fines científicos. La polémica dio lugar a un extenso debate donde cada estamento social tomó una postura basada más en la creencia y el interés personal que en la nueva realidad científica.

Actualmente, la Unión Europea no cuenta con una legislación común sobre la producción y el uso de células madre procedentes de embriones humanos. La Convención Europea para la Protección de los Derechos Humanos y de la Dignidad del Ser Humano prohíbe explícitamente la «creación de embriones humanos para fines de investigación». Sin embargo, esta norma no es vinculante y cada país tiene autonomía para legislar, con los reglamentos y marcos éticos que considere adecuados, sobre la investigación con células madre embrionarias humanas. Así, la legislación sobre la utilización o no de los embriones humanos con fines científicos está en continua evolución, y la situación actual es distinta en los diferentes países.

Existen países más permisivos en el uso de las células madre embrionarias, como Suecia, Reino Unido, Finlandia, Grecia, los Países Bajos o España, y otros que se muestran más reticentes, como es el caso de Alemania, Irlanda o Dinamarca. A modo de ejemplo, hay que señalar que, en Alemania, el uso de los embriones en la investigación médica es ilegal desde que entró en vigor en enero de 1991 la Ley de Protección del Embrión. En determinadas circunstancias, sí permiten importar células madre de otros países para los proyectos de investigación especiales. Una postura contraria ha sido la adoptada por Reino Unido que, desde 2001, permite el uso de embriones para la investigación de enfermedades graves y sus respectivos tratamientos, así como la propia producción de embriones humanos con fines científicos. Desde 2001, también se permite la clonación terapéutica, proceso que se basa en extraer el núcleo de un célula somática cualquiera e introducirla en un óvulo enucleado para constituir así un cigoto, el cual irá evolucionando y cuyas células se podrán utilizar con fines terapéuticos, es decir, para la curación de enfermedades graves del individuo que aportó el núcleo celular. Sí está prohibida, como en todo el mundo, la implantación de un embrión humano clonado por dicho procedimiento en el útero de una mujer, lo que se conoce como clonación reproductiva.

En cuanto a la situación en España, la legislación sobre el uso de las células madre ha sufrido una evolución importante en los últimos años. En el momento de la publicación de los llamativos resultados de Thomson, regía en España la Ley 35/1988 de Técnicas de Reproducción Humana

Asistida, que prohibía la utilización de embriones humanos excedentes de los programas de fertilización *in vitro* (FIV), criopreservados en bancos autorizados, una vez pasados cinco años. Esto planteaba el problema de qué hacer con esos embriones sobrantes no utilizables para el fin que se habían creado; es decir, ¿debían ser desechados o bien ser utilizados para investigación, ya que estos embriones nunca se implantarían pasados los cinco años reglamentarios?. Cabe destacar que el gobierno andaluz fue uno de los primeros de Europa en legislar sobre el uso de las células madre con fines terapéuticos. Así, en octubre de 2003 se aprobó la Ley que regulaba el uso de los preembriones sobrantes de las técnicas de fecundación *in vitro* (FIV) no viables para la reproducción asistida, y se creó el Comité Regional de Ética, encargado de autorizar los proyectos de investigación tras un análisis exhaustivo de los mismos. Más tarde se aprobó la ley estatal 45/2003, que modificaba la anterior ley de 1988; este nuevo documento no recogía cambios sustanciales pero permitía la utilización de los embriones congelados excedentes como fuente de células embrionarias humanas. Sin embargo, limitaba el número de ovocitos y el de embriones a implantar a tres, en ambos casos, en las mujeres que se sometieran a programas de FIV.

Después de un largo proceso de informes y un amplio debate social, el 6 de mayo de 2005 el Consejo de Ministros aprobó el envío a las Cortes del proyecto de Ley de Reproducción Asistida. Con ella se eliminaba la limitación de los ovocitos a fecundar y tampoco se establecía una edad límite para someterse a las técnicas reproductivas. Como se preveía, se sigue prohibiendo la clonación humana con fines reproductivos y se deja para otra ley, la de Investigación en Biomedicina, ahora en discusión, la regulación de la clonación con fines terapéuticos. El texto generaliza la posibilidad de investigar con preembriones sobrantes, para lo que se requiere un consentimiento informado previo de los progenitores. Esta medida suprime la limitación establecida en la ley de 2003, que sólo permitía investigar con los embriones sobrantes que hubieran sido congelados.

En países como EE. UU., por el contrario, no sólo se prohíbe rotundamente la clonación humana, tanto para fines reproductivos como terapéuticos, sino que prohíben el uso de las células embrionarias humanas de cualquier origen con fines científicos. Sostienen que cualquier normativa que permita el uso de las células embrionarias constituiría un gran obstáculo para el avance basado en el uso de células madre adultas, capaces de generar cualquier tejido. La investigación con las células madre embrionarias humanas en este país corre a cargo exclusivamente de las empresas privadas. A pesar de lo anterior, y como claro ejemplo de contradicción social y política, en el estado de California se permite la investigación con células madre embrionarias.

## NEURONAS ESPECULARES («MIRROR NEURONS»)

José Carlos Dávila

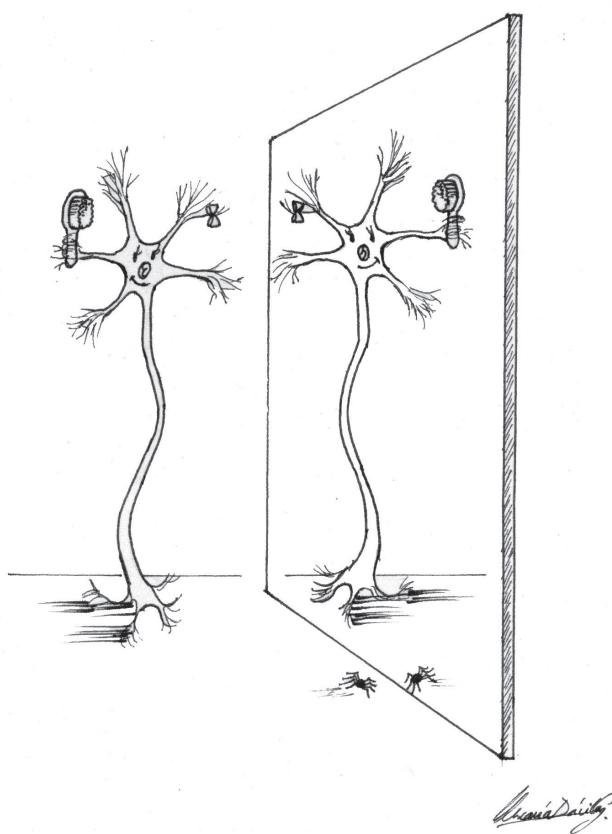
Profesor Titular del Departamento de Biología Celular, Genética y Fisiología, Universidad de Málaga.

Hace algo más de un año, el diario El País publicaba una entrevista al Dr. Giacomo Rizzolatti, neurólogo y profesor de fisiología humana en la Universidad de Parma, sobre un curioso descubrimiento que él y su equipo habían hecho en la corteza cerebral de los monos. Se trataba de unas neuronas que se activaban no sólo cuando el animal estaba ejecutando una determinada acción motora, sino también cuando el animal observaba la misma acción, pero realizada por otro individuo, generalmente de la misma especie. Por esta razón, a esas neuronas se les llamó «neuronas especulares». La trascendencia de tal hallazgo pasó rápidamente de simple «curiosidad» a ser considerado como un hito importante en el campo de la neurociencia y la psicología. Tanto es así, que un eminent científico, el Dr. Vilayamur Ramachandran, director del «Center for Brain and Cognition» en la Universidad de California, ha llegado a afirmar que el descubrimiento de las neuronas especulares constituye el descubrimiento más importante de la última década, y compara su repercusión en el campo de la psicología con el del ADN en el de la biología. Independientemente de que tal afirmación pueda ser exagerada, el descubrimiento de las neuronas especulares y su posible papel en el aprendizaje por imitación y en fenómenos como la empatía ayudarán a explicar muchas de las capacidades mentales que hasta

ahora permanecían misteriosas y eran inaccesibles a la experimentación. (Para ver un vídeo sobre las neuronas especulares, visítese esta dirección: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/sciencenow/3204/01.html>).

Comencemos por el principio, ¿cómo se descubrieron las neuronas especulares? Como en muchos otros casos, la suerte jugó un papel importante en el descubrimiento de estas neuronas. Giacomo Rizzolatti y su equipo trabajaban con monos, registrando la actividad nerviosa en zonas de la corteza premotora (una región de la corteza cerebral localizada en el lóbulo frontal por delante de la corteza motora). Los experimentos consistían en hacer registros intracelulares en las neuronas de dicha corteza mientras los animales realizaban algún tipo de movimiento. Con ello se obtenía información de la actividad de neuronas individuales. Haciendo estos registros, observaron que ciertas neuronas de la corteza premotora se activaban cuando el mono realizaba un determinado movimiento con su mano o brazo como, por ejemplo, coger una pieza de fruta, empujar un objeto o llevarse un cacahuete a la boca, y que además para cada acción se activaban diferentes neuronas. Es decir, la activación de una determinada neurona era dependiente de la acción realizada. Hasta aquí todo era normal, este tipo de células que se activan específicamente con movimientos complejos o secuencias complejas de movimientos ya habían sido descritas, y se las consideran como neuronas motoras superiores o neuronas de «comandos motores».

Llegado a este punto habría que abrir un pequeño paréntesis para explicar, de forma muy simple, cómo se generan los movimientos «voluntarios», es decir, los movimientos dirigidos hacia un fin (por ejemplo, coger una pieza de fruta), sobre la base de la transmisión de información entre las distintas áreas de la corteza cerebral. Los estímulos iniciales (como puede ser la «observación de la fruta») son procesados en las cortezas sensoriales (en este caso, fundamentalmente en la corteza visual), a partir de las cuales la información es enviada a las cortezas asociativas, donde se asocian diferentes estímulos sensoriales (visuales y somáticos, por ejemplo) y se «decide» la acción a realizar. Esa «intención» se envía a las regiones premotoras, donde se genera la complicada secuencia de comandos que van a producir el movimiento final deseado, es decir, alcanzar y coger la fruta (todavía, desde la corteza premotora, las órdenes tienen que «viajar» a la corteza motora y finalmente a las motoneuronas de la médula, que son las que inervan los músculos del brazo y de la mano, responsables finales del movimiento). Es en la corteza premotora donde se encontrarían esas neuronas motoras superiores, como las registradas en los experimentos de Rizzolatti. La actividad de estas neuronas «codifica» un determinado movimiento, por lo que la activación de estas neuronas precede en el tiempo



(aunque sean fracciones de segundo) al movimiento.

Lo verdaderamente sorprendente en los experimentos de Rizzolatti fue el hallazgo (aquí es donde intervino la «suerte») de que estas neuronas de la corteza premotora también se activaban cuando el mono observaba a otro mono (o a uno de los experimentadores) realizando la misma acción, aunque el mono que estaba siendo registrado no presentara ningún movimiento. La activación de estas neuronas «especulares» también era específica de la tarea que se estaba observando.

El descubrimiento de las neuronas especulares en la corteza premotora sugiere que la simple observación de un determinado movimiento en otro individuo es suficiente para provocar la simulación mental del movimiento observado, mediante la codificación de la información visual en términos de activación de estas neuronas motoras. Tal activación produciría la ejecución física subsiguiente de dicho movimiento en el observador (imitación). Así pues, la imitación puede considerarse una tendencia automática de la respuesta, aunque ésta se encuentre normalmente inhibida.

Una de las principales implicaciones que podrían tener estas neuronas especulares o sistemas especulares es en el aprendizaje por imitación. La imitación es un fenómeno que puede ser observado no sólo en el hombre y en los primates, sino también en otros mamíferos, y podría constituir una base importante para el aprendizaje durante las primeras etapas del desarrollo postnatal.

Las neuronas especulares se han descubierto en monos, pero se está seguro de que se encuentran también en humanos, aunque las evidencias en este caso son indirectas. Uno de los ejemplos más claros proviene de un estudio realizado en pacientes que habían sufrido un infarto cerebral que afectó a uno de sus hemisferios cerebrales y que, como consecuencia del mismo, tenían parálisis de un lado del cuerpo (el lado contrario con respecto al hemisferio afectado). La mayoría de estos individuos eran conscientes de su parálisis; sin embargo, un porcentaje pequeño de los pacientes la negaba rotundamente, aunque su estado mental era por lo demás completamente normal. Estos pacientes presentaban un extraño trastorno denominado anosognosia o síndrome de la negación, que consiste en

la incapacidad de reconocer una enfermedad o defecto propio. Lo más sorprendente, sin embargo, fue el hecho de que algunos de estos pacientes anosognosicos no solamente negaban su propia parálisis, sino también la parálisis de otros pacientes, aunque ésta fuera claramente visible tanto para ellos como para los demás.

Actualmente, gracias al desarrollo de las técnicas de obtención de imágenes del cerebro en vivo, como la PET (tomografía por emisión de positrones) o la fMRI (resonancia magnética funcional), que permiten ver variaciones de la actividad neuronal en regiones discretas del cerebro, se ha puesto de manifiesto la existencia de sistemas de neuronas especulares o redes neuronales «compartidas» en humanos. Además, existen pruebas de redes neuronales «afectivas» que podrían estar en la base de nuestra capacidad para la empatía. Así, se ha observado que los patrones de activación de ciertas áreas del cerebro son similares cuando los sujetos sienten sus propias emociones y cuando observan estas mismas emociones en otros. En otras palabras, la observación del estado emocional de otra persona activa las redes neuronales implicadas en el procesamiento de ese estado en uno mismo. Algunos investigadores sugieren que estos circuitos neuronales «compartidos» podrían formarse mediante un mecanismo de aprendizaje asociativo, es decir, por asociaciones entre neuronas que se activan simultáneamente. Según estos autores, cada vez que un perceptor (como la visión de un rostro triste o enfadado), o una señal simbólica (como la palabra 'dolor'), sea acompañado por una cierta activación emocional, visceral o sensorial, se formará una asociación (conexión) entre esa señal y la representación neuronal de la sensación interna. Más tarde, la mera presentación de esas señales puede desencadenar la representación emocional, visceral o sensorial asociada con ella.

La existencia de las neuronas o sistemas especulares podría explicar no solamente nuestra «facilidad» para el aprendizaje de los movimientos o la tendencia natural a la imitación de los gestos u otros movimientos, sino también la capacidad de hacer propia la manera en que siente otra persona y de compartir sus sentimientos (empatía), lo cual nos puede llevar a una mejor comprensión de su comportamiento o de su forma de tomar decisiones.

## BREVE HISTORIA DE LA ECOLOGÍA: VICISITUDES Y PRETENSIONES DE UNA NUEVA CIENCIA (II)

José M<sup>a</sup> Blanco Martín

Profesor Titular del Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga.

### **El nicho ecológico y el primer enfoque ataxonómico**

Elton define el nicho ecológico como «lo que realmente hace el animal, y no sólo sus apariencias»<sup>1</sup> en un claro enfrentamiento a la concepción estática enquistada desde la fitogeografía. En realidad, Elton no define el nicho como

concepto final, sino como una de las cuatro premisas que le llevan a elaborar su teoría sobre la pirámide de números, acerca de la estructura de las comunidades, cuya importancia no sería apreciada hasta casi veinte años después, cuando el concepto de ecosistema nazca en la mente racional de Tansley, y Lindeman intente publicar

su brillante artículo sobre el flujo de energía en distintos niveles tróficos dentro del ecosistema.

Además de la formulación dinámica de nicho, Elton tiene que inventar el concepto de cadena o ciclo alimentario y considerar la posición de cada especie en la cadena, además de tener en cuenta la discontinuidad en el tamaño de los organismos implicados en la cadena trófica, por cuestiones puramente mecánicas (el depredador ha de tener un tamaño acorde con su presa). Con estas cuatro premisas, Elton elabora su teoría sobre la pirámide de cantidades animales, que relaciona la abundancia de las especies en función de su tamaño corporal. Inicialmente atribuye la forma de estas distribuciones a la mayor tasa de reproducción de los animales pequeños y avanza algo sobre la progresiva escasez de recursos a lo largo de la cadena trófica, pero esta idea no se formalizaría hasta bastante más tarde.

#### **La fragua de la teoría ecológica**

Gause llegó al concepto de nicho desde el lado matemático de la ecología en 1935 y lo revistió de propiedades teóricas potencialmente muy valiosas<sup>2</sup>. Utilizando las premisas de competencia entre especies —que estuvieron prácticamente abandonadas desde que Darwin las formuló— llevó a cabo una serie de experimentos de laboratorio para probar algunos resultados teóricos sobre dinámica de poblaciones, principalmente entre especies competidoras. Su principio de exclusión competitiva dejaba meridianamente clara la singularidad del nicho: si dos especies ocupan el mismo nicho, es imposible que coexistan.

La teoría sobre la que se sustentaban los experimentos de Gause procedía de los trabajos de Lotka. Este científico austriaco realizó un verdadero esfuerzo para fundar las bases físicas de la biología en su libro *Elementos de biología física*, pero no tuvo la repercusión esperada entre los físicos —y menos entre los biólogos— de su época y sólo escasos retazos de su obra fueron apreciados por algunos ecólogos como Gause. Los modelos de depredador y presa, y de competencia entre poblaciones, son sólo una mínima parte de toda la teoría que elaboró Lotka, modelos a los que también llegó el matemático italiano Volterra tras considerar que las poblaciones deberían interactuar igual que las moléculas en una reacción cuya velocidad dependiese de la frecuencia de encuentros<sup>3</sup>.

#### **Ecosistemas**

Los insistentes embates que recibe la ecología desde las facciones teóricas desencadenan la necesidad de acotar conceptualmente los objetos que manejaban los ecólogos. Tansley decide en 1935 acabar con el finalismo heredado desde los orígenes de la ecología y aplicar asépticamente el método científico a esta ciencia ya cuajada. Ello requería la definición precisa y aislada del sistema al que aplicar el método<sup>4</sup>. Para Tansley, el objeto de aplicación del método científico en ecología es «...la totalidad del sistema, que incluye no sólo el complejo de los organismos, sino también todo el complejo de factores físicos [...].

Los sistemas así formados son las unidades básicas de la naturaleza [...]. Estos *ecosistemas*, como podemos llamarlos, muestran una enorme diversidad de tipos y tamaños»<sup>5</sup>. También deja claro —y con ello acuchilla de muerte a las entelequias organicistas— que el ecosistema es un objeto del pensamiento, no de la naturaleza, cuya función es permitir el estudio de ésta de acuerdo con el rigor científico. Apoyándose en esta lúcida definición, extrae tres conclusiones de las que brotarán las tres ramas modernas de la ecología: a) considera que la progresión del estado del ecosistema a través de un equilibrio dinámico es un caso particular de la dinámica de sistemas físicos y, por tanto, se rige por las mismas leyes termodinámicas; b) este proceso dinámico, que sólo tiene sentido a largo plazo, está afectado por la evolución de sus partes, sometidas a la teoría de selección natural; y c) la actividad humana es un factor biótico —factor ecológico— más y, por ello, se deben tener en cuenta las intervenciones humanas en la naturaleza.

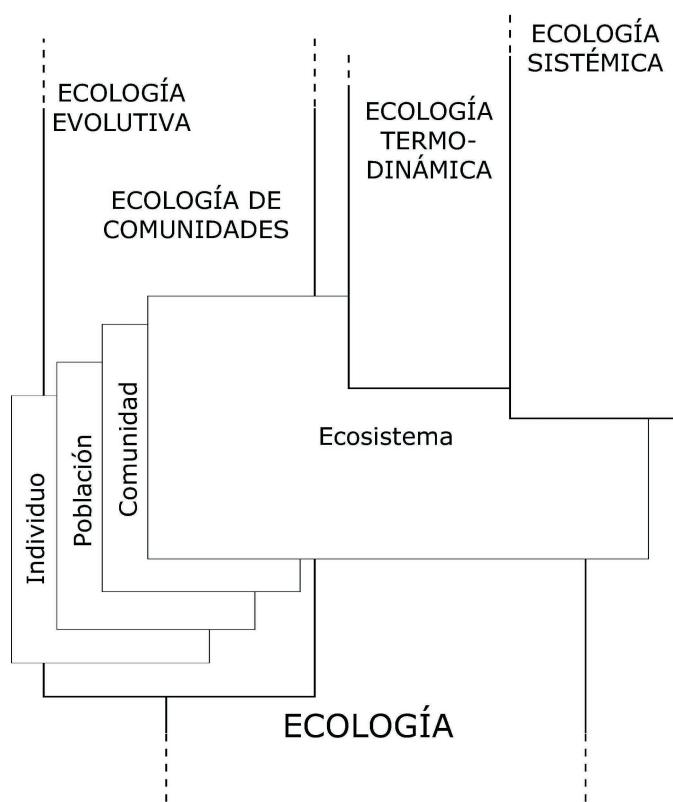


Figura 1. Las ramas más gruesas de la ecología

#### **La ecología energética**

La audacia de Tansley se propaga rápidamente durante finales de los treinta y es adoptada por jóvenes científicos<sup>6</sup> que ven en el enfoque energético la más prometedora vía de avance en ecología. Lindeman es uno de ellos y transforma el barroco lenguaje naturalista en un lenguaje reducido a términos energéticos, susceptibles de ser tratados en la teoría termodinámica. La obra de Lindeman es sorprendentemente actual: utiliza un enfoque moderno,

con compartimentos, niveles tróficos, eficiencias y balances de procesos, y sus conclusiones lo son aún más. Encuentra pruebas experimentales de que el cociente respiratorio (energía respirada/energía dedicada al crecimiento) aumenta al ascender por las cadenas tróficas, y de que la eficiencia ecológica (el cociente entre la producción de un nivel trófico y el inmediato inferior) aumenta en cada peldaño trófico, aunque su exiguo valor medio limita el número de niveles hasta los que puede ascender la energía. Las implicaciones de estos resultados salpicaron a toda la ecología, proporcionando un nuevo marco teórico independiente del poblacional, y permitieron aplicar nuevas explicaciones a fenómenos como la sucesión —del trabajo de Lindeman ya se puede deducir que el cociente producción/biomasa disminuye a lo largo de la misma.

En el camino de esta rama de la ecología hacia el hiperreducciónismo cibernetico de la dinámica de sistemas, Odum<sup>7</sup> le propina el impulso definitivo en 1950. Formaliza conceptualmente las ideas de Lindeman y las arropa en el seno de los principios de la termodinámica: el equilibrio térmico, la conservación de la energía y la irreversibilidad de los procesos que alteran la entropía de los sistemas abiertos<sup>8</sup>. Propone audaces ideas acerca de la evolución de los ecosistemas, la sociedad humana y la naturaleza interdisciplinar de la ecología. Odum explica, por ejemplo, el aumento de especies y de la diversidad durante la sucesión ateniéndose al proceso de selección natural de ecosistemas que tiendan a aumentar la potencia utilizada, disminuyendo más rápidamente la energía libre en el sistema (incluidas las sociedades humanas). También señala que, entre dos sistemas conectados, la energía fluye hacia el más organizado y cómo este último puede alcanzar un nivel de organización muy elevado manteniendo al primero en un estado inmaduro<sup>9</sup>.

(continuará)

### Notas

<sup>1</sup> En su libro *Animal ecology*, publicado en Londres en 1927. (Citado por DELÉAGE, op.cit.)

<sup>2</sup> Esta trabajo abriría el camino a Hutchinson para formalizar, más de veinte años después, el nicho ecológico como una fracción del hipervolumen cartesiano formado por los factores ecológicos determinantes de la distribución de cada especie.

<sup>3</sup> Esta teoría sobre la cinética química fue iniciada por Trauta (1916) y Lewis (1918) y desarrollada por varios científicos en la década de los 20. Aunque ya se conocía desde 1867 su versión empírica o «ley de acción de masas», formulada por los noruegos Guldberg y Waage, Volterra tuvo el mérito de traspasar a la ecología una teoría físico-química recién propuesta en una ciencia por aquél entonces mucho más importante. De hecho, toda la familia de modelos clásicos en dinámica de poblaciones (incluidos el logístico y los de competencia) se pueden deducir de la ley de acción de masas al considerar el recurso como variable.

<sup>4</sup> Más adelante se habla con más detalle sobre el método científico.

<sup>5</sup> Citado por DELÉAGE (op. cit.).

<sup>6</sup> Sepueden considerar como la segunda generación de ecólogos. Raymond Lindeman elabora toda su teoría con sólo veinticinco años, inspirado en su maestro y amigo George Evelyn Hutchinson. Fatídicamente, muere antes de ver publicado su artículo, una de las piedras angulares de la ecología moderna (*The trophic-dynamic aspect of ecology*, Ecology 23, 1942).

<sup>7</sup> Howard, el menor de los dos hermanos, que ni siquiera era ecólogo de formación —sino químico nuclear— y sin duda fue atraído por los enigmáticos sistemas que manejaba su hermano Eugene.

<sup>8</sup> Además, adapta la simbología de los circuitos eléctricos al flujo de energía dentro de los ecosistemas, lo que facilita el desarrollo y la comprensión de los modelos conceptuales.

<sup>9</sup> Es la alegoría de sistemas como ciudad/plantación, ballenas/plancton o primer/tercer mundo. De minúsculo interés real, incita una atractiva disquisición filosófica.