

EVOLUCIÓN

VOLUMEN 7(2)

2012



PENSANDO DESDE LA EVOLUCIÓN, por A. MOYA — 3

ENTREVISTA A JOSE MARIA EIRIN, por S. MERINO — 6

Tres preguntas claves sobre la evolución del hombre. Una conversación pública con Francisco J. Ayala— 11

ARTÍCULOS:

MORENO, J.

La estructuración de las comunidades ecológicas por selección natural: una lección para la ecología de Wallace y Darwin — 33

TOMÁS CARDOSO, R.

Sistemas de parentesco y familia humana: una revisión biocultural desde la antropología evolucionista — 39

PÉREZ RAMOS, H.

La falsa sonrisa del delfín y nuestras neuronas espejo — 55

BOTO, L.

Evolución reticulada — 73

COMENTARIOS DE LIBROS:

“*Darwin y el Reduccionismo Biológico. La Solución Emergentista*” de Leandro Sequeiros. Comentado por **M. D. PRIETO SANTANA**— 84

NORMAS DE PUBLICACIÓN — 88



Editores de eVOLUCIÓN

José Martín y Pilar López

Junta Directiva de la SESBE

Presidente: Andrés Moya
Vicepresidente: Santiago Merino
Secretario: Toni Gabaldón
Tesorera: Rosario Gil
Vocales: Inés Álvarez
Jose Enrique Campillo
Camilo José Cela Conde
Jordi García
Arcadi Navarro
Antonio Rosas

eVOLUCIÓN es la revista de la Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)

eVOLUCIÓN no tiene necesariamente que compartir todas las ideas y opiniones vertidas por los autores en sus artículos.

© 2012 SESBE

ISSN 1989-046X

Quedan reservados los derechos de la propiedad intelectual.

Cualquier utilización de los contenidos de esta revista deberá ser solicitada previamente a la SESBE.



Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)

Facultad de Ciencias
Universidad de Granada
18071 Granada

<http://www.sesbe.org>

e-mail: sesbe@sesbe.org

Para enviar artículos a eVOLUCIÓN:

José Martín y Pilar López
Dep. Ecología Evolutiva
Museo Nacional de Ciencias Naturales
CSIC
José Gutiérrez Abascal 2
28006 Madrid

jose.martin@mncn.csic.es
pilar.lopez@mncn.csic.es

¡¡LA eVOLUCIÓN AL RESCATE!!

Parece que no van bien las cosas, y son malos tiempos para la ciencia y el conocimiento. Las preocupaciones por la economía pueden hacer que nos olvidemos de pensar. Para evitar esto, acudimos al rescate con un nuevo número de la revista, otra vez lleno de interesantes artículos, que esperamos nos estimulen a pensar y nos ayuden a sobrevivir en estos días difíciles, y todo ello sin ningún coste para los lectores, para no aumentar el déficit de sus bolsillos.

Empezamos este número como es habitual con la carta del presidente de la SESBE (*Andrés Moya*) a los socios donde nos habla de las actividades que tiene previsto realizar la SESBE con su objetivo de divulgar la evolución, destacando las páginas educativas sobre evolución y la creación del Premio Nacional de Evolución. Además, presentamos, una entrevista a José María Eirin López, Premio SESBE al Joven Investigador en Biología Evolutiva 2011, donde nos habla de sus estudios sobre la evolución de la cromatina.

Tenemos la inmensa suerte de poder incluir en este número el contenido íntegro de la conversación pública con Francisco J. Ayala, organizada por la Fundación Lilly y la Fundación Rafael del Pino, en la que se discutieron tres preguntas claves sobre la evolución del hombre.

Y como es habitual presentamos varios artículos que tratan sobre: 1) como contribuye la selección natural a estructurar las comunidades ecológicas; 2) una revisión desde el punto de vista de la antropología evolucionista de los sistemas de parentesco y familia humana; 3) el significado y las implicaciones evolutivas de las neuronas espejo; y 4) el papel de la denominada evolución reticulada en el proceso global de la evolución biológica.

Incluimos también una reseña de un interesante libro de Leandro Sequeiros sobre Darwin y el Reduccionismo Biológico.

Nuestro más sincero agradecimiento a los autores y lectores de eVOLUCIÓN por mantener activo el pensamiento sobre la Teoría evolutiva. Un abrazo y esperamos que la eVOLUCIÓN pueda contribuir al rescate de esta sociedad.

José Martín y Pilar López

Editores de eVOLUCIÓN

Pensando desde la evolución

Estimados Socios de la SESBE:

A finales del mes de Julio la Junta Directiva de la SESBE mantuvimos una reunión en el Jardín Botánico de Madrid. La lista de puntos a tratar era larga y en esta carta pretendo hacer referencia a alguno de ellos.

Ahora mismo la SESBE es una realidad, una Sociedad que lleva a cabo las labores propias de toda sociedad científica: promover el conocimiento de la ciencia, en este caso el de la Biología Evolutiva. A finales de 2013, y organizado por el Instituto de Biología Evolutiva de Barcelona, llevaremos a cabo el que será el **IV Congreso de la Sociedad**, a realizar en los locales de CosmoCaixa. Estamos en una época de gran austeridad, lo que se ve reflejado en la falta de recursos disponibles para cubrir los gastos de organización del nuevo congreso. La Junta anima a organizarlo, en todo caso, ayudando en la medida de sus posibilidades presupuestarias y apostando por la austeridad, lo que no significa pérdida de calidad en modo alguno.

La SESBE, por otro lado, si consideramos que es una Sociedad que incluye científicos procedentes de muy diferentes sectores de la Biología, y en la medida de sus posibilidades económicas, pretende ayudar a otras Sociedades científicas más especializadas. Próximamente se va a llevar a cabo el **IV Congreso Nacional de Biodiversidad**, en Bilbao, y la SEBSE promueve dentro de ella algunas becas para estudiantes.

En el ámbito de la divulgación científica es pertinente que mencione que la Universidad de Berkeley (EEUU) se ha puesto de nuevo en contacto con nosotros para actualizar las **páginas educativas sobre Evolución**. En su momento aceptamos el reto de traducir al castellano lo que nuestros colegas californianos tenían colgado en la web del Museo de Paleontología de la citada universidad. Ahora



Andrés Moya, Presidente de la SESBE

hemos acordado con ellos el llevar a cabo la actualización completa de todos los contenidos en inglés para que aparezcan en castellano. Todavía nos resta por decidir si esos contenidos aparecerán directamente en su página y nosotros podremos acceder a ella con una llamada desde la nuestra, o introducirlos completamente en nuestro propio servidor.

Es importante, en estos momentos de crisis y, por lo tanto, de supuesta crisis también de financiación estable de la ciencia, el que mostremos a la Sociedad la importancia que la ciencia tiene para ella y la necesidad de continuar desarrollándola, incluso en estos momentos y con los recursos financieros mermados. Una forma muy apropiada es captando el interés de la misma, y de los jóvenes particularmente, premiando la excelencia científica de los mejores científicos y dándolo a conocer apropiadamente a través de determinados medios de comunicación. Así va a nacer el **Premio Nacional de Evolución**. La Junta Directiva, como ya comuniqué en carta anterior, está configurando la composición del Comité que decidirá los premiados, así como las bases que lo regularán. Estamos buscando, por otro lado, el que los premiados

reciban un objeto escultórico apropiado al carácter del premio y su ámbito.

Me gustaría hacer una llamada de atención a todos los lectores de **eVOLUCIÓN**. En este número vamos a presentar la transcripción de la mesa redonda que llevó a cabo el Profesor Francisco J. Ayala con algunos ilustres colegas nacionales, donde se debatió en torno a tres cuestiones clave de la evolución humana. Bajo el patrocinio de las Fundaciones del Pino y Lilly tenemos realmente una primicia en la revista para examinar lo que allí se debatió. Nosotros mismos estamos sorprendidos del encaje tan perfecto que existe entre lo llevado a cabo en esa mesa redonda los objetivos divulgadores de la SESBE y uno de sus máximos órganos para lograrlo: la revista **eVOLUCIÓN**. Algo similar ocurrirá en un próximo número en torno a otro seminario que sobre Humanidades y Naturaleza Humana se llevó a cabo en la Universidad Complutense de Madrid. Espero que los lectores disfruten con todas estas novedades.

Del mismo modo animo a todo aquel que tenga interés en llevar a cabo actividades divulgadores como las dos anteriormente mencionados a que se pongan en contacto con la Junta Directiva, o con los responsables de la revista **eVOLUCIÓN**, para lograr plasmar en ella los resultados de los potenciales encuentros. Todo esto con independencia de seguir recibiendo trabajos originales de divulgación, pensamiento o enseñanza de la evolución.

Recibid un cordial saludo

Andrés Moya
Presidente de la SESBE



sociedad española de biología evolutiva

Cómo hacerse miembro de la SESBE...

Para hacerse miembro de la Sociedad Española de Biología Evolutiva hay que realizar 3 trámites muy sencillos

- Crear una cuenta nueva en la base de datos de la web de la SESBE (www.sesbe.org) completando los datos personales (como mínimo los campos obligatorios).
- Realizar el pago de la cuota anual de 10 ó 20 euros (según sea miembro estudiante u ordinario) en la siguiente cuenta corriente de **Bancaja**:

Número de cuenta: 2077 2009 21 1100743151
 Código IBAN: IBAN ES32 2077 2009 2111 0074 3151
 Código BIC (SWIFT): CVALESVVXXX

- Remitir el comprobante de pago bancario junto con los datos personales por fax, correo postal o electrónico (escaneado-pdf) a la tesorería de la SESBE:

Prof. María Rosario Gil García
 Profesora Titular de Genètica
 Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biología Evolutiva,
 Parc Científic de la Universitat de València
 C/ Catedrático Agustín Escardino, 9
 46980 Paterna (València)

Dirección Postal: Apartat Oficial 22085. 46071 València
 e-mail: tesoreria@sesbe.org
 Fax: +34 96 354 3670

- Una vez completados los tres trámites, la tesorera se pondrá en contacto con el nuevo socio para comunicarle que el proceso se ha realizado con éxito, activará su cuenta y le dará la bienvenida en nombre de la Junta Directiva.

Entrevista a José María Eirin López.

Premio SESBE al Joven Investigador en Biología Evolutiva 2011.

por Santiago Merino

Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC

<< La epigenética no es incompatible con la Teoría de la Evolución de Darwin >>



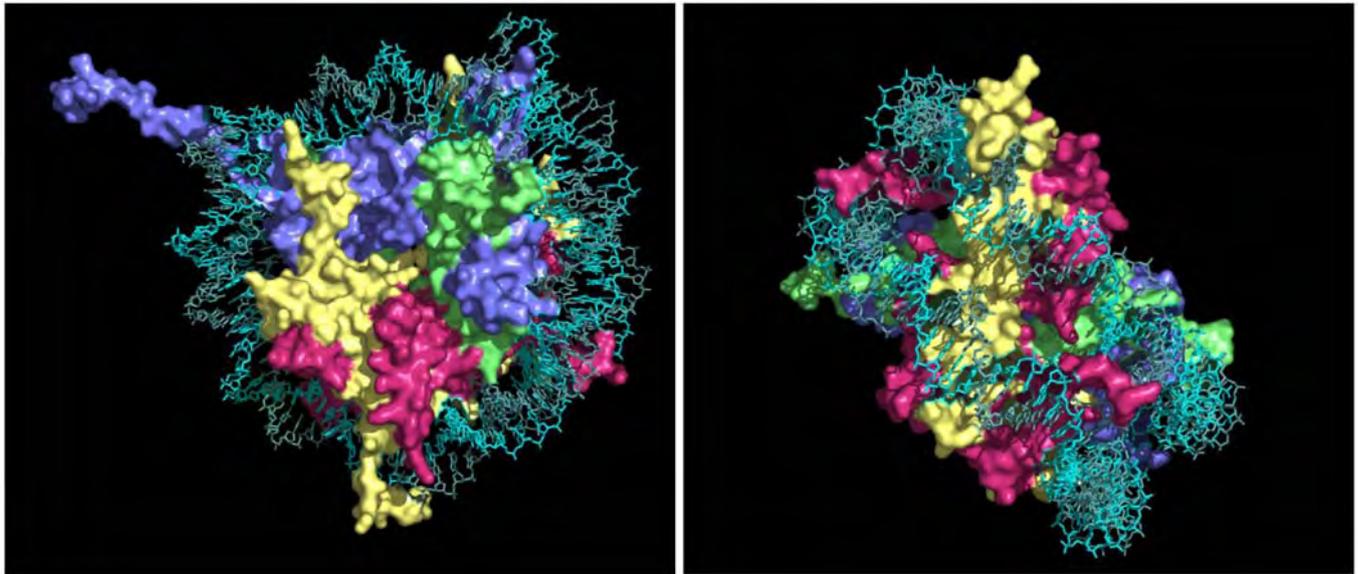
Jose María Eirin es Investigador "Ramón y Cajal" y dirige el grupo de investigación CHROMEVOL-XENOMAR en el Departamento de Biología Celular y Molecular de la Universidade da Coruña, en el que además imparte docencia en el Grado en Biología así como en los programas de Máster de Biología Molecular, Celular y Genética, Máster en Biotecnología Avanzada y Máster en Biología Marina.

Licenciado en Biología en el año 1999 (Grado en 2000), ambas en la Universidade da Coruña. Entre los años 2001 y 2005 desarrollo su Tesis Doctoral en el Área de Genética de dicha Universidad, analizando la familia génica de las histonas en moluscos bivalvos, con especial énfasis en la caracterización de la evolución a largo plazo de la familia de histonas H1. Entre los años 2005 y 2007 llevo a cabo su formación postdoctoral en el Department of Biochemistry and Microbiology de la University of Victoria (Canadá) bajo la supervisión del Dr. J. Ausio, en el marco de un Proyecto Marie Curie en el 6

Programa Marco de la Unión Europea. Fue en ese período cuando inicio la línea de investigación "Estructura, Función y Evolución de la Cromatina" que actualmente dirige en la Universidade da Coruña.

SM - Las histonas son unas proteínas fundamentales para el empaquetamiento del ADN en los cromosomas así como para el funcionamiento del genoma de los seres eucariotas. ¿De donde proceden evolutivamente estas proteínas?

JME - Las histonas juegan un papel estructural fundamental pero además cumplen también una función reguladora primordial el núcleo de la célula eucariota. Sin embargo, su origen evolutivo se remonta a arqueobacterias hace más de 2000 millones de años. Estos procariontes unicelulares empaquetan su material hereditario mediante proteínas similares a histonas (pseudohistonas o proteínas histone-like). El origen arqueobacteriano de las histonas eucariotas fue sugerido en 1998 por los propios K. Sandman y J. N. Reeve, al hilo de la publicación de una nueva hipótesis para explicar el origen del primer eucariota, publicada en la revista Science por W. Martin y M. Müller ese mismo año. Esta hipótesis sugiere que el núcleo de la célula eucariota se originó a partir de una arqueobacteria ancestral, heredando así un mecanismo de organización del material hereditario basado en la asociación entre histonas y ADN. Consecuentemente, el origen evolutivo de las diferentes familias de histonas parece haber acontecido en el ancestro común de arqueobacterias y eucariotas, facilitando el incremento del tamaño del genoma y el desarrollo de la complejidad propia de la célula eucariota. La diferenciación de cinco familias de histonas representó un hito para el empaquetamiento eficiente de una gran cantidad de material genético en el interior



Representación estructural del nucleosoma desde una vista frontal y lateral (parte izquierda y derecha de la figura, respectivamente).

del núcleo celular. Sin embargo, fue la posterior diferenciación de histonas variantes especializadas en funciones concretas la que conllevó una importancia decisiva para la regulación funcional del metabolismo del ADN.

SM - Dado el papel fundamental de las histonas en el empaquetamiento del ADN, podríamos quizá esperar que fueran proteínas muy conservadas evolutivamente. Sin embargo, existen distintos tipos de histonas con funciones diferentes. ¿Cómo han surgido evolutivamente?

JME - Las histonas constituyen proteínas pequeñas, simples y con una elevada carga positiva, la cuál facilita su interacción con el ADN. El descubrimiento de su extraordinario papel funcional en la regulación del metabolismo del ADN planteó una importante paradoja: ¿cómo unas proteínas genéticamente homogéneas pueden desempeñar un abanico tan amplio de funciones? La solución a esta pregunta vino de la mano del nacimiento de la Genómica en los años 90, evidenciando extraordinaria diversidad génica en la familia de las histonas en la que caben desde variantes prácticamente idénticas entre sí hasta histonas muy divergentes. La incorporación de histonas variantes en segmentos específicos de la cromatina implica una especialización estructural y funcional. Valgan como ejemplos los casos de las variantes H2A.X y CENPA, involucradas en la reparación de roturas de ADN y en la organización de la cromatina en los centrómeros de los cromosomas.

Contrariamente a la idea tradicional de la evolución concertada (homogeneizadora) de la familia de las histonas, nuestros estudios han demostrado que los miembros de dicha familia están sometidos a un proceso de diversificación génica basado en duplicaciones génicas recurrentes. La especialización funcional de las histonas variantes viene determinada por el efecto de la selección sobre esta variación genética. Este mecanismo de evolución molecular es conocido como evolución mediante nacimiento y muerte ("birth-and-death"), y fue propuesto por primera vez por M. Nei y A. Hughes en 1992. En la actualidad, el modelo de birth-and-death representa el modelo principal de evolución de la mayoría de las familias génicas presentes en eucariotas.

SM - Inicialmente se consideraba que las histonas eran unas proteínas estructurales cuyo papel se restringía a servir de base para el plegamiento del ADN. Sin embargo, por lo que parece son mucho más que eso. ¿Puedes explicarnos un poco las funciones que desempeñan las histonas? ¿Cómo se activan unas u otras funciones?

JME - Las histonas fueron inicialmente consideradas como un mero soporte para la organización del DNA, careciendo de un papel funcional relevante. Esta visión simplista, junto con el desarrollo de la biología molecular y el estudio funcional del DNA (gen-función) a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, propició una pérdida progresiva del interés en el estudio de histonas y cromatina, quedando relegado a

aspectos puramente ultraestructurales. No fue hasta mitad de los años 90 cuando dicho interés resurgió nuevamente, gracias a los estudios pioneros del Dr. C. D. Allis demostrando que las histonas regulan el empaquetamiento y desempaquetamiento selectivo de diferentes regiones del genoma en respuesta a señales celulares específicas. Este proceso de "respiración" de la cromatina (chromatin breathing) es crucial, por ejemplo, para la regulación de la expresión o represión de distintos genes. En otras palabras, las histonas representan la última barrera física que separa el ADN de los complejos con los que esta molécula debe interactuar para desempeñar todas sus funciones. Existen tres mecanismos genéricos mediante los cuáles las histonas pueden modificar dinámicamente la estructura de la cromatina: la incorporación de histonas variantes especializadas, la modificación post-traducciona de diferentes aminoácidos en las histonas (acetilación, fosforilación, metilación ...) y la remodelación de la cromatina mediante complejos especializados. Dichos mecanismos actúan de modo combinado constituyendo el denominado "código de las histonas", determinando diferentes estados estructurales y funcionales en la cromatina en función de diferentes factores celulares.

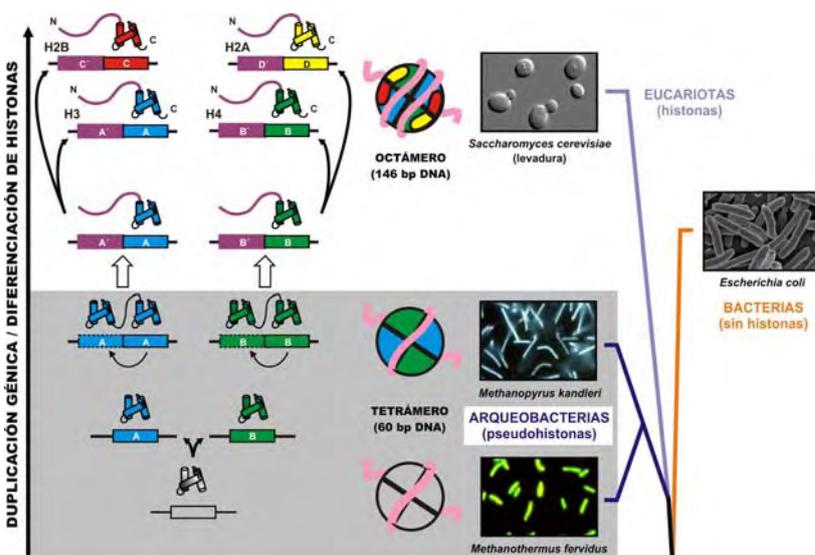
SM - Parece que incluso la secuencia del ADN está también involucrada en la dinámica de la propia cromatina. ¿Supone esto una fuerza selectiva en la evolución de las histonas o es simplemente un

mecanismo que facilita o dificulta la expresión de ciertas partes del genoma?

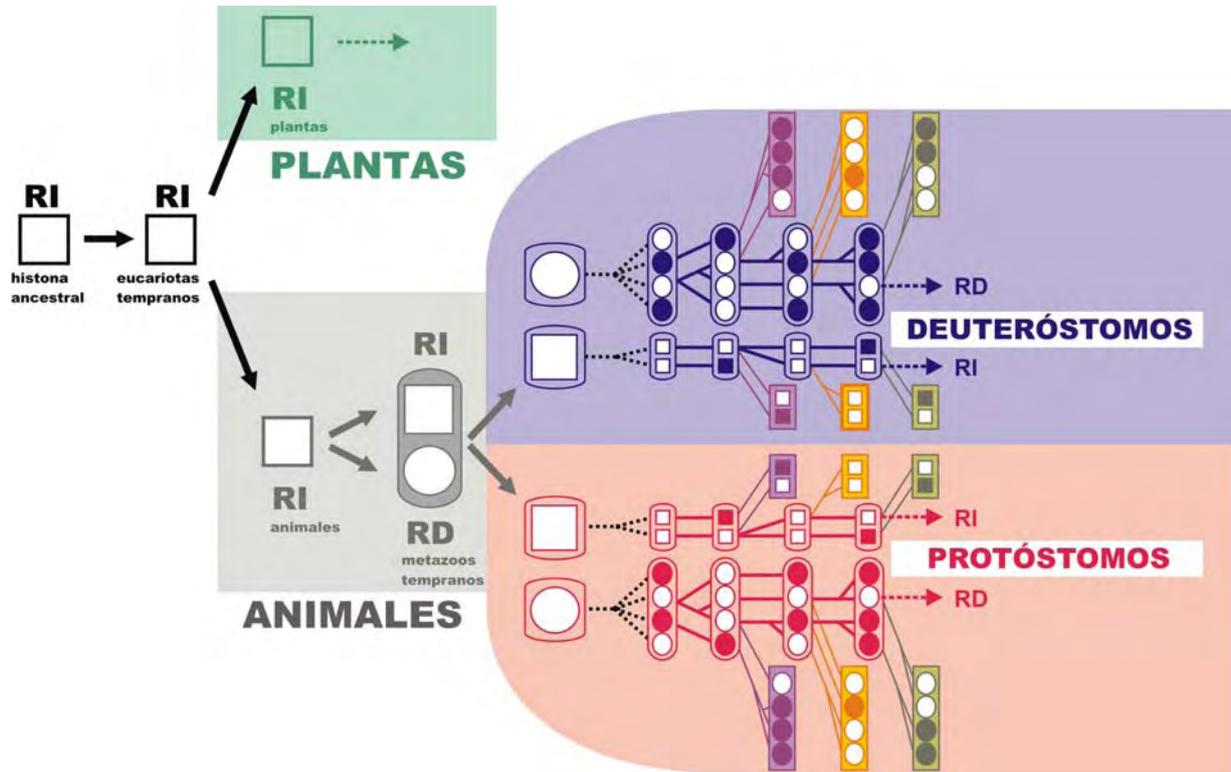
JME - Efectivamente, la propia secuencia del ADN parece jugar también un papel fundamental en el establecimiento de diferentes regiones funcionales en la cromatina. La interacción entre señales residentes en la secuencia del ADN (genéticas) y aquellas dependientes de modificaciones en los componentes estructurales de la cromatina (epigenéticas), añaden un nivel de complejidad superior al mecanismo de regulación de la información contenida en el material hereditario. En un contexto evolutivo tenemos, por una parte, que los residuos identificados como dianas de modificaciones post-traduccionales (con valor epigenético) están preservados en las histonas por el efecto de la selección. Por otra parte, el análisis de regiones de ADN no codificantes muestran del mismo modo huellas de selección activa. Estos resultados sugieren que los diferentes niveles controladores de los mecanismos moleculares que gobiernan la dinámica de la fibra de cromatina están sometidos a fuertes constricciones funcionales. Aún más, parecen indicar un proceso de evolución exquisitamente coordinado entre ellos.

SM- Quizá uno de los campos de mayor interés en la actualidad tiene que ver precisamente con las modificaciones epigenéticas de las histonas, su efecto sobre la estructura cromatinica y sus consecuencias funcionales en la regulación de la expresión génica. ¿Que futuro nos espera de manos de la epigenética? ¿Es este un mecanismo alternativo a la evolución por selección natural o sólo una nueva vía de funcionamiento de la selección natural todavía por explorar?

JME - Si bien no existe duda acerca del valor epigenético de las modificaciones de las histonas, sí existen en la actualidad muchos interrogantes acerca de su papel específico en este proceso. Por ejemplo, ¿cómo se transmiten dichas modificaciones al nuevo ADN tras la replicación?, ¿es posible que la estructura cromatinica del genoma sea perpetuada únicamente a través de unas cuantas modificaciones en las histonas?, ¿existen otros factores capaces de determinar estados cromatinicos complejos? Una hipótesis que ha suscitado gran expectación sugiere que



Mecanismo de duplicación génica responsable de la diversificación de histonas a lo largo de la evolución.



Genealogía de los linajes de histonas canónicas (RD) y variantes (RI) a lo largo de la evolución mediante evolución "birth-and-death" (los cuadrados y círculos blancos representan genes activos, los coloreados representan pseudogenes). Mecanismo de duplicación génica responsable de la diversificación de histonas a lo largo de la evolución.

uno de estos determinantes es el ARN. Al menos en el caso de levaduras, se ha demostrado que pequeños segmentos de ARN pueden dirigir enzimas modificadoras de histonas a regiones específicas de la cromatina, guiados de una manera extremadamente precisa por su homología con el ADN. De este modo, las modificaciones de histonas ejecutarían la memoria epigenética mantenida en estos small RNAs. Como biólogos evolutivos, no deja de ser irónico el enfrentarnos al estudio de rasgos epigenéticos, es decir, cambios fenotípicos heredables que no implican alteraciones en el ADN. Es inevitable pensar en el cuello de las jirafas y la herencia de los caracteres adquiridos de Lamarck. Sin embargo, una definición más actual de epigenética es la información contenida en el genoma (p.ej., en la cromatina) que no está codificada por el ADN. Huelga decir que la epigenética no es incompatible con la Teoría de la Evolución de Darwin. Esta disciplina constituye un campo nuevo y excitante que amplía

nuestra visión acerca de la función de los genes, revelando una extraordinaria complejidad y un modo de funcionamiento incierto. Sin duda, su análisis evolutivo constituirá uno de los retos más importantes en la Biología del siglo XXI.

Muchísimas gracias por vuestras preguntas, no quiero finalizar sin dar de nuevo las gracias a la SESBE por este premio así como por su labor divulgativa e investigadora, y del mismo modo referiros a nuestro último trabajo "El papel clave de las histonas" publicado en la revista Investigación y Ciencia (Diciembre 2011) para más información sobre la evolución de estas proteínas.

Más información en:

www.udc.es/grupos/xenomar/chromevol/intro.html

Tres preguntas claves sobre la evolución del hombre.

Una conversación pública con Francisco J. Ayala

1. ¿Soy un mono? La evolución biológica del pensamiento abstracto.
2. ¿Es el comportamiento moral un resultado de la evolución biológica?
3. ¿Puede el hombre controlar su propia evolución como especie?

Francisco J. Ayala

Catedrático de Ciencias Biológicas, Universidad de California, Irvine. EE.UU.
Medalla Nacional de la Ciencia de EE.UU. en 2001. Premio Templeton en 2010.

Mesa:

Fernando Baquero Mochales

Director Científico del Instituto Ramón y Cajal de Investigación Sanitaria. Investigador del Laboratorio de Evolución Microbiana del Centro de Astrobiología.

Juan José López-Ibor Aliño

Catedrático y Director del Instituto de Psiquiatría y Salud Mental del Hospital Clínico San Carlos. Académico de la Real Academia Nacional de Medicina.

Camilo José Cela Conde

Profesor de Evolución Humana. Universidad de las Islas Baleares.

Manuel Martín-Loeches Garrido

Profesor de Psicobiología de la Universidad Complutense de Madrid y coordinador del Área de Neurociencia Cognitiva del Centro Mixto UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos.

Moderadores:

José Antonio Gutiérrez Fuentes

Doctor en Medicina. Internista. Director de la Fundación Lilly.

Amadeo Petitbó Juan

Director de la Fundación Rafael del Pino.

José Luis Puerta López-Cózar

Coordinador del Área de Antropología Médica del Centro Mixto UCM-ISCIH de Evolución y Comportamiento Humanos. Director de *Dendra Médica*. Revista de Humanidades.

eVOLUCIÓN 7(2): 11-32 (2012).

Introducción

1. ¿Soy un mono? La evolución biológica del pensamiento abstracto

Soy un primate. Los monos son primates, pero los humanos no son monos. Los primates incluyen a los monos, a los simios y a los humanos. Los humanos están más cerca, en su linaje, de los simios que de los monos. Dentro del conjunto de los simios, estamos más cerca de los chimpancés, más lejos de los gorilas y mucho más lejos de los orangutanes. El linaje humano se separó del linaje del chimpancé hace unos 6 ó 7 millones de años.

La teoría de la evolución de Darwin afirmó que los humanos y los simios compartían ancestros comunes que no eran humanos. Sus contemporáneos se preguntaban dónde estaba el *eslabón perdido*, el organismo intermedio entre los simios y los humanos. Los primates que

fueron ancestros del hombre, después de que nuestro linaje se separara del chimpancé, se llaman homínidos. En la época en que Darwin murió no se conocían fósiles homínidos de ancestros del hombre moderno, aunque él estaba convencido de que se acabarían encontrando.

El eslabón perdido ya no está perdido. Se han descubierto, desde el siglo XX, miles de restos fósiles pertenecientes a cientos de individuos homínidos en África, Asia y Europa, y siguen descubriéndose a un ritmo acelerado. Hay fósiles homínidos que cuando se comparan con los humanos, o entre ellos, son muy diferentes y se clasifican en distintas especies. El registro de fósiles homínidos pertenecientes a épocas distintas nos muestra que hubo muchos cambios en el linaje de los humanos modernos a través del tiempo. Uno de los cambios fue la postura bípeda; otro, el aumento del tamaño del cerebro, que hizo posible el desarrollo de la tecnología y la cultura.

2. ¿Es el comportamiento moral un resultado de la evolución biológica?

Cuando se plantea la cuestión de si la ética está determinada por la naturaleza biológica humana, la cuestión a discutir puede ser una u otra de las dos siguientes: (1) ¿Está la *capacidad ética* de los seres humanos determinada por su naturaleza biológica? (2) ¿Están los sistemas o códigos de *normas éticas* determinados por la naturaleza biológica humana?

La primera tesis que proponemos es que los humanos son seres éticos por su naturaleza biológica; que los humanos evalúan su comportamiento como correcto o incorrecto, moral o inmoral, como consecuencia de sus eminentes capacidades intelectuales, que incluyen la autoconciencia y el pensamiento abstracto. Estas capacidades intelectuales son productos del proceso evolutivo pero son distintivas de los humanos.

La segunda tesis es que las normas morales según las cuales evaluamos acciones particulares como moralmente buenas o malas (así como los fundamentos que pueden utilizarse para justificar dichas normas morales) son productos de la evolución cultural, no de la evolución biológica. Las normas de moralidad pertenecen, a este respecto, a la misma categoría de fenómenos que las instituciones políticas y religiosas o las artes, las ciencias y la tecnología. Los códigos morales, como esos otros productos de la cultura humana son a menudo consistentes con las predisposiciones biológicas de la especie humana y de otros animales. Pero esta consistencia entre normas éticas y tendencias biológicas no es necesaria ni universal; no se aplica a todas las normas éticas de una sociedad dada, ni mucho menos a todas las sociedades humanas.

3. ¿Puede el hombre controlar su propia evolución como especie?

La adaptación de una especie a su entorno es el proceso principal que mueve y modela la evolución biológica. La adaptación biológica tiene lugar debido a la selección natural; es decir, a la reproducción preferencial de variantes genéticas que mejoran la interacción de un organismo con su entorno. Pues bien, en el ser humano, y sólo en él, la adaptación al ambiente se puede llevar a cabo también por medio de la cultura. La cultura es, de hecho, un modo de adaptación considerablemente más eficaz que el biológico por tres razones principales: la adaptación al entorno por medio de la cultura puede ser dirigida, es más rápida que la primera y también más poderosa que la adaptación biológica.

Las propuestas de mejora de la condición humana por medio de los conocimientos de la genética molecular y las técnicas y prácticas asociadas con ella pueden agruparse en dos

categorías generales con respecto a sus objetivos. Por un lado, están las propuestas terapéuticas, que se plantean corregir enfermedades o defectos y aliviar el dolor y el sufrimiento, tanto individuales como sociales. Por otro, están las visiones utópicas que persiguen un “mundo feliz”, por medio de la mejora de genes o la clonación de individuos con genotipos idóneos, para alcanzar una humanidad ideal y perfecta o, al menos, lo más perfecta posible.

Las posibilidades tecnológicas de la genética molecular parecen ser ilimitadas. Se puede producir la hormona del crecimiento que permite un desarrollo normal a niños que, sin ella, serían enanos. Cabe activar el sistema inmune de los “niños burbuja” para protegerlos de infecciones fatales. Hemos obtenido por clonación animales idénticos a aquellos de los que procede el genoma original, como fue el caso de la oveja *Dolly*.

Aun así, para la humanidad moderna la ingeniería genética y otros modos de mejora biológica son triviales comparados con la adaptación al ambiente por medio de la cultura. El poder superior de la adaptación cultural es notorio cuando se considera que durante los últimos milenios la humanidad ha adaptado el ambiente a sus genes mucho más que sus genes al ambiente. Para extender su hábitat geográfico, una especie tiene que adaptarse, por lo general, a través de una lenta acumulación de mutaciones genéticas apropiadas a las condiciones de clima, nutrición, etc., existentes en el territorio a colonizar. Los humanos estamos biológicamente adaptados a los climas tropicales o subtropicales, a unos ambientes en los que la temperatura media es de unos 25 grados. Pero el descubrimiento del fuego y el uso de vestidos y vivienda han permitido al ser humano extenderse por toda la Tierra y colonizarla, con la excepción de la Antártida, sin necesidad de mutaciones que le adaptaran anatómica y fisiológicamente al frío o la altitud. La humanidad no está a la espera de mutaciones que le permitan adquirir alas; la conquista del aire ha sido llevada a cabo de forma eficaz construyendo aviones. De la misma manera, los humanos viajan y viven durante largos periodos en los ríos y los mares aunque carezcan de branquias y aletas. Y el espacio está siendo explorado por los astronautas provistos de trajes presurizados y portadores del oxígeno que necesitan para respirar. Nuestra especie ha colonizado la Tierra y colonizará el espacio no debido a la adaptación de sus genes al ambiente, sino modificando los ambientes de acuerdo con sus necesidades biológicas. La humanidad es la especie dominante sobre la Tierra debido a su capacidad de adaptación supra-orgánica, a través de la cultura.

José Antonio Gutiérrez Fuentes
Amadeo Petitbò Juan
José Luis Puerta López-Cózar

¿Soy un mono? La evolución biológica del pensamiento abstracto.

Francisco J. Ayala: Muchas gracias a la Fundación del Pino y a la Fundación Lilly por ofrecerme esta oportunidad. Entre las personas que van a participar hay tres con las que he estado planeando este acto desde hace ya muchos meses, los doctores José Antonio Gutiérrez, José Luis Puerta, y Fernando Baquero. Muchas gracias por ayudarme a planear este evento y muchas gracias a todos ustedes por acompañarnos.

Un problema para los profesores es que estamos acostumbrados a hablar una hora sin parar, y transformar una hora en 10 a 15 minutos sólo se puede hacer mirando al reloj continuamente.

Este es el árbol universal de la vida (Fig. 1). Aquí están contenidos todos los organismos que existen, que incluyen las bacterias, que la mayoría de ustedes conocen como agentes que causan enfermedades. Sin embargo, las bacterias son fundamentales en todos los procesos de la vida porque son las que utilizan los materiales de descomposición de otros organismos vivos, cuando mueren, y hacen posible que otros organismos los puedan utilizar de nuevo. De Archaea, grupo de organismos descubierto sólo hace 35 años, se conocían como muy raras dos o tres especies que vivían en los géiseres en Yellowstone, uno de los parques nacionales de Wyoming, pero hoy sabemos que se trata de un grupo de organismos muy numeroso y abundante. De hecho, este árbol está construido con arreglo a la convención de que la longitud de cada una de estas ramas es aproximadamente proporcional a la diversidad del grupo de organismos indicado en la imagen. Como ven, existen estos grupos de bacterias, estos grupos de Archaea, tan numerosos como las bacterias, y finalmente los eucariotes. Las bacterias y las archaeas son células sencillas. Los eucariotes son células mucho más complejas con varios componentes interiores, muy notablemente en el núcleo donde está el ADN, el material hereditario. De los eucariotes, la mayoría son microscópicos como lo

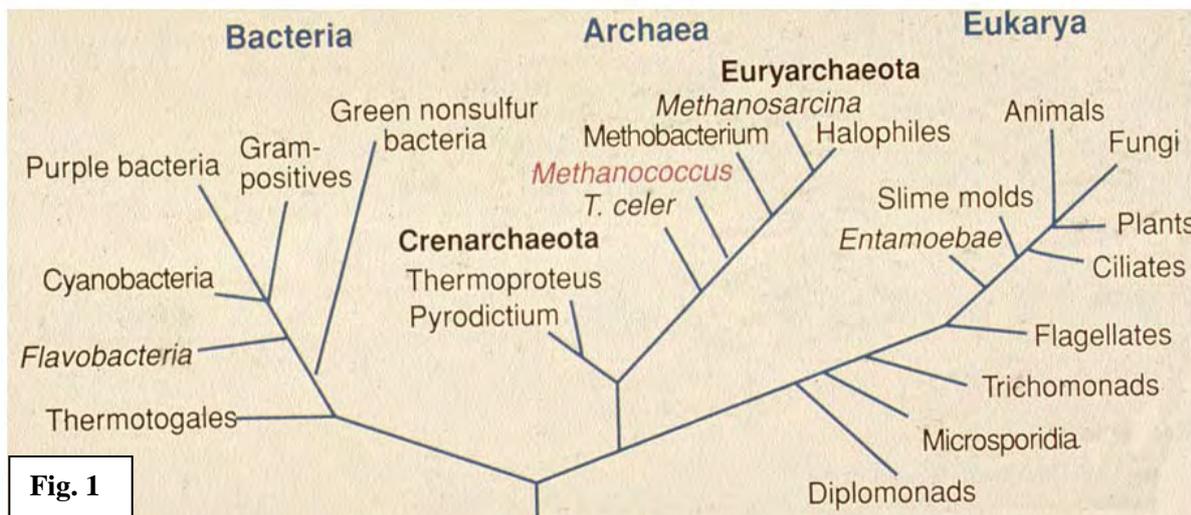


Fig. 1

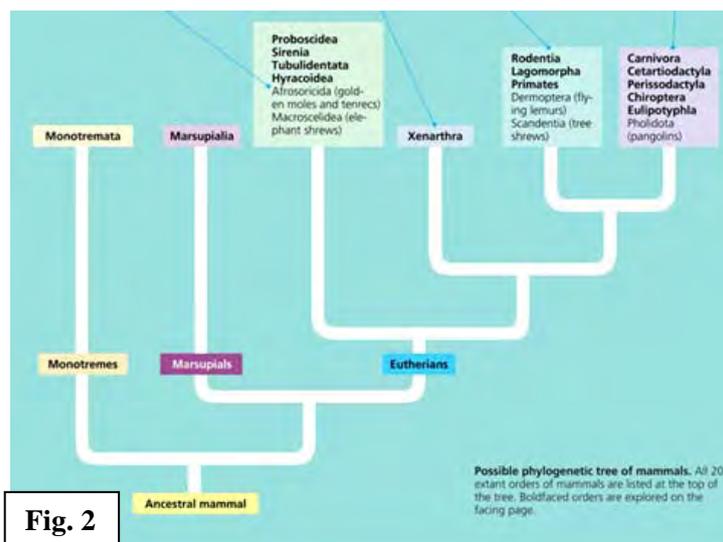


Fig. 2

son las bacterias y las archaeas, y los únicos que son visibles o que se pueden percibir con nuestros sentidos son los animales, las plantas y los hongos. Ya ven que estos representan una parte pequeña de toda la vida que existe sobre la tierra, y sin embargo eran los únicos seres vivientes de cuya existencia tenían conciencia nuestros antepasados hasta hace menos de 300 años.

Hay un millón de especies de animales descritas y se calcula que son menos del 0,1% de las especies que han existido, es decir, el 99,9% se han extinguido, lo que quiere decir que ha habido más de mil millones de especies de animales, de las cuales, como digo, sólo un millón están inscritos actualmente entre los animales que viven.

Todas esas especies, están clasificadas en una serie de organismos, de grupos. Los animales se agrupan entre 35 y 40 grupos, muy grandes y con gran diversidad de organismos, uno de los cuales son los vertebrados, técnicamente llamados cordados (Fig. 2).

Entre los vertebrados están los mamíferos, y entre los mamíferos los primates. Como ven, estamos muy relacionados con los conejos y con los roedores. Si miramos ahora a los primates y su árbol genealógico que lleva hasta nosotros, los humanos, vemos que los chimpancés son nuestros parientes más cercanos. De hecho, el linaje que

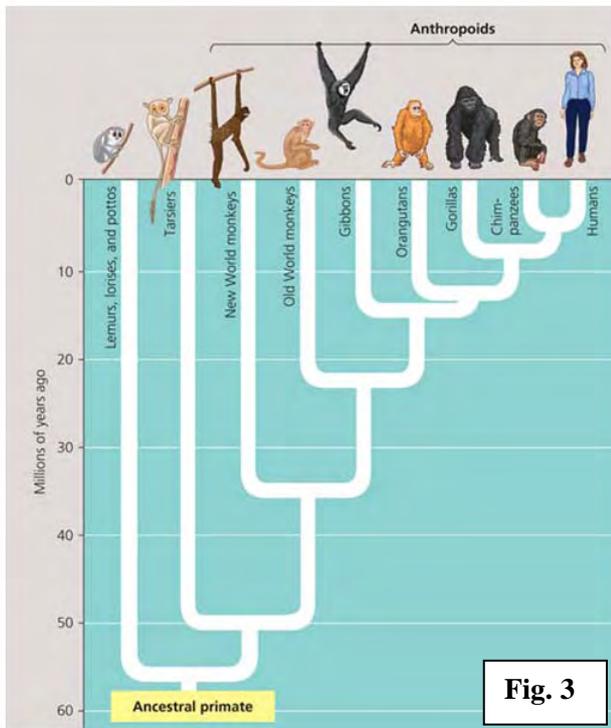


Fig. 3

va a los chimpancés y el que va a los humanos se separaron hace solo aproximadamente siete millones de años (Fig. 3).

Un punto en el que quiero hacer énfasis de nuevo, es que somos una especie entre más de mil millones de especies de animales que han existido, y entre muchos miles y miles de otras especies de tipos distintos que existen todavía en el momento actual. Pero somos una especie muy especial, muy diferente por razones que son obvias, pero que también biológicamente son muy relevantes.

Cuando Darwin, el creador de la teoría de la evolución actual, murió en el año 1882, no se había descubierto ningún fósil que estuviera en el linaje humano, una vez que éste se hubiera separado ya del linaje que va a los chimpancés.

Empezando en 1889, y desde entonces hasta el presente, se han descubierto miles de fósiles humanos y aquí (Fig. 4) están representados algunos de ellos, pero hay muchos más y pertenecen a especies diversas, con nombres exóticos.

Hay dos cambios morfológicos muy importantes que ocurren en la evolución de los homínidos, como se les llama, u homínidos. Uno de ellos es la postura bípeda. Nosotros andamos en dos patas, los chimpancés y los gorilas cuando andan en el suelo (andan por los arboles más frecuentemente), se tienen que apoyar en los nudillos, o sea, utilizan los cuatro miembros para andar. La postura erguida la adquieren nuestros antepasados muy pronto, sabemos que ya nuestros antepasados, indicados aquí, de hace seis millones de años ya eran principalmente bípedos.

Otro cambio notable que nos diferencia de los chimpancés y de los demás primates es el tamaño del cerebro. Sin embargo, el cerebro humano no empieza a aumentar en los homínidos hasta *Homo habilis* que, como ven, es la especie que

vive hace unos dos millones de años. El cerebro de los chimpancés pesa unos 300 gramos, y su volumen es de unos 300 centímetros cúbicos. El peso del nuestro es de 1400 gramos, o sea más de cuatro veces superior, y empezó a aumentar con *Homo habilis*. Algo sucedió en la evolución del cerebro que facilitó este aumento tremendo del 300-400% en la escala de dos millones de años, lo que representa un hecho rápido, inusitado en la historia de la evolución. Evidentemente, en la rápida y notable evolución humana algo tuvo que impulsar el desarrollo del cerebro.

A estos conocimientos llegamos a partir de las observaciones de los paleo-antropólogos sobre fósiles de homínidos que vivían hace entre siete y seis millones de años, que andaban con una postura erguida. Es sorprendente como utilizando aproximaciones muy sofisticadas estos investigadores pueden concluir mucho a través de pequeños huesos de un dedo del pie u otros mucho más relevantes, como la cadera del primer fósil hallado en el que pudo reunirse más del 50% de un solo individuo, el llamado *Australopithecus afarensis*, un fósil que descubrieron dos cientí-

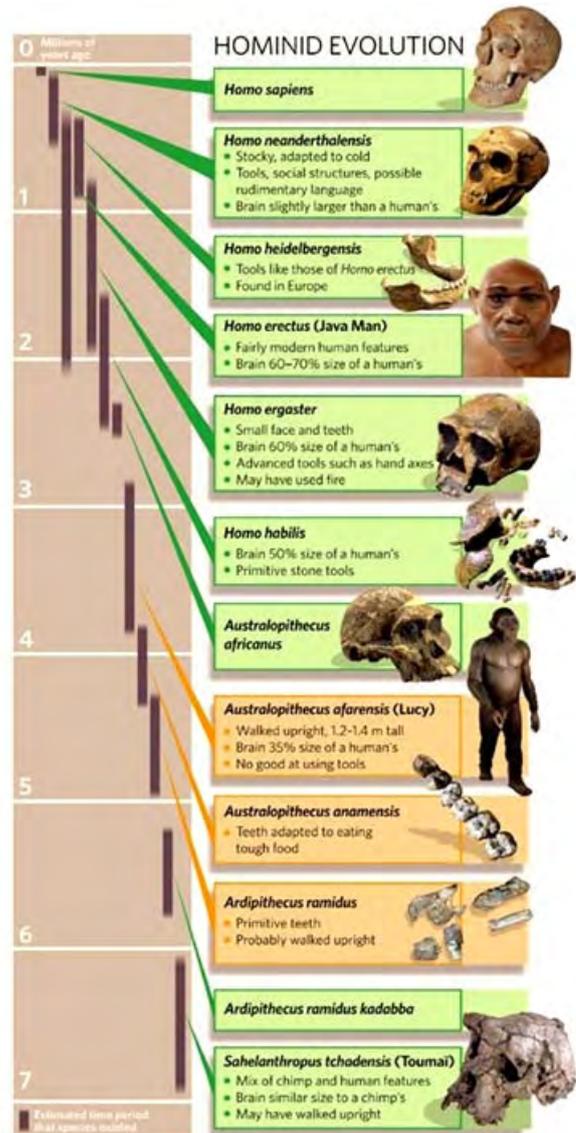


Fig. 4



Fig. 5

cos de la Universidad de California y bautizaron como Lucy, una mujer que había alcanzado la madurez sexual, pero aun joven. (Fig. 5)

Si observan la configuración de la cadera y la comparamos con la cadera humana actual ya ven que tiene la misma configuración (en este dibujo he aumentado el tamaño de la cadera de Lucy para que se pueda comparar con la humana) (Fig. 6). La de un gorila o un chimpancé es muy diferente. Lucy tenía una estatura aproximada de un metro, y es claro que con una cadera como la que tiene Lucy no podía andar sobre los nudillos. Se necesita una cadera larga para andar de esa manera, y Lucy tenía una cadera como la nuestra. Ahí tienen a Lucy (Fig. 7).

El cambio del cerebro empieza a ocurrir como les dije hace solo dos millones de años. Hay en la evolución lo que se llaman relaciones alométricas

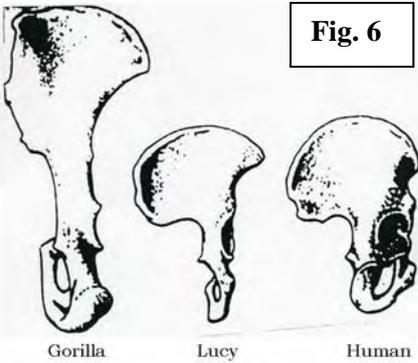


Fig. 6

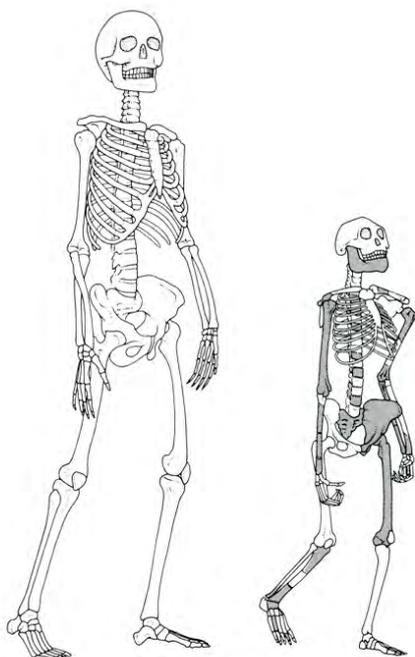
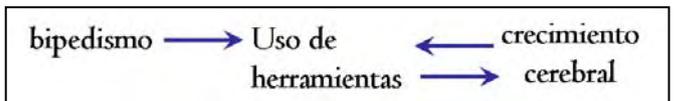


Fig. 7

entre las distintas partes del cuerpo. Una persona con un cuerpo mas grande tiende a tener una cabeza más grande, los brazos más largos, etcétera. Lo mismo sucede con las especies que estén relacionadas. Pero, ¿tenemos un cerebro más grande que el de Lucy porque tenemos más cuerpo? La respuesta es que no, que sucede algo mucho más diferente y más importante, y que se muestra en el esquema (Fig. 8). Entre los homínidos existen los que se llaman Australopithecus robustos, que son descendientes de afarensis como lo somos nosotros. Pero ya los robustos, aunque no eran tan altos como nosotros, tenían un volumen de cuerpo parecido y sin embargo el tamaño del cerebro seguía siendo pequeño. En los humanos, el cerebro va aumentando, de 650 a 800 gramos en el *Homo habilis*; llega casi al kilo en el *Homo erectus*; y a los 1,400 gramos en los humanos actuales. Una representación un poco mas técnica de cómo cambia el aumento del cerebro en los humanos, en los homínidos, la indica la relación alométrica entre el cerebro y el tamaño del cuerpo en los primates en general (Fig. 9). En el chimpancé, el orangután, o el gorila el cuerpo aumenta y el cerebro aumenta, pero éste aumenta poco, y los Australopithecus incluyendo a Lucy y otros se ajustan a esta curva. Sin embargo, cuando miramos a las especies de *Homo*, *Homo habilis*, *Homo erectus* y *Homo sapiens* el aumento del cerebro es enorme mientras que el aumento del cuerpo es relativamente pequeño.

Resumiendo, como respuesta a la pregunta ¿los humanos somos primates?, los monos son también primates, pero no somos monos, somos una clase diferente de primate. ¿Qué es lo que lleva al aumento enorme del cerebro que se observa en los homínidos? No lo sabemos muy bien. Una de las hipótesis más razonables y la que muchos evolucionistas favorecen es la que está representada aquí:



Una vez que aparece el bipedismo, la postura erguida, se quedan las manos y los brazos libres, ya no los necesitan para andar o para trepar los árboles. Entonces, el brazo y la mano empiezan a evolucionar, a cambiar muy notablemente. Nuestra mano es un instrumento, por decirlo así, mucho más flexible, mucho más poderoso, mucho más capaz y hábil que la mano de un chimpancé o de un gorila. Podemos manejar objetos grandes, objetos pequeños, sentimos la temperatura, la aspereza de las superficies y demás. Y es la evolución de la mano y del brazo asociada con la postura erguida, la que hace posible que nuestros antepasados, hace aproximadamente dos millones de años, empiecen a construir utensilios y herramientas que les proporcionan una gran ventaja. Pueden así llegar

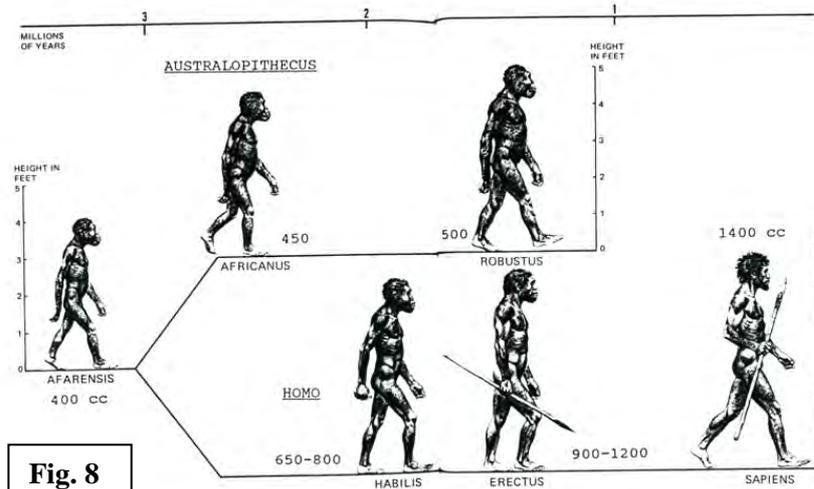


Fig. 8

a utilizar una flecha para cazar, o un cuchillo para cortar la carne.

Para hacer instrumentos hay que tener una inteligencia relativamente avanzada, porque para ello es preciso poder formar imágenes mentales de situaciones futuras. Se fabrica así un cuchillo para cortar cuya utilidad está en el futuro. Yo diseño el cuchillo con arreglo al uso que de ello voy a hacer lo que implica que tengo que formar una imagen mental del uso que le voy a dar. Y lo mismo con un hacha para cortar o una flecha para cazar. Ello quiere decir que aquellos entre nuestros antepasados que eran más inteligentes hacían más herramientas y por lo tanto sobrevivían mejor. Los que eran más inteligentes tendían a tener el cerebro más grande, lo que crea una situación de retroalimentación positiva. El uso de herramientas está asociado con el crecimiento cerebral y va aumentando gradualmente a medida que también los instrumentos, los utensilios, son más complejos y, eventualmente, llegaríamos hasta el cerebro y la tecnología actuales.

Para terminar, les voy a dar dos listas. Una de ellas (Fig. 10) resume las diferencias en anatomía, en aspecto físico y fisiológico entre los humanos y los chimpancés y los demás primates. Primero el bipedismo y los cambios que ocurren en la espina dorsal, la cadera, la forma del pie y otros. Hice énfasis en los cambios que ocurren en el brazo y la mano y los pulgares opuestos. Los

Anatomía

- Bipedismo y postura erguida, que implican cambios en espina dorsal, cadera, forma del pie y otros
- Pulgares opuestos y cambios en brazo y mano, que facilitan la construcción y uso de utensilios, manipulación precisa
- Aumento del cerebro
- Reducción de mandíbula y reconfiguración de la cara
- Ovulación críptica y receptividad sexual continua
- Cambios en la piel y sus glándulas
- Disminución del vello corporal
- Desarrollo lento
- Modificación de la laringe y cuerdas vocales
- Reorganización del cerebro

Fig. 10

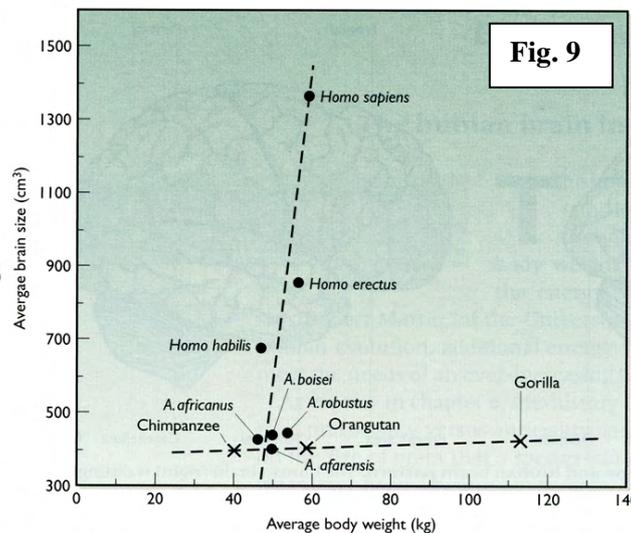


Fig. 9

chimpancés y gorilas tienen un pulgar pero no lo pueden utilizar para coger objetos, así como hacemos nosotros.

Sobre el aumento del cerebro, es muy interesante nuestra mandíbula que se reduce a medida que aumenta el cerebro para que la cabeza no sea demasiado grande y el niño pueda nacer a través del canal del parto, que tiene consecuencias interesantes. Tenemos más dientes que los que nos caben en la mandíbula y nos tienen que sacar las muelas del juicio y enderezar los otros. Y otros problemas parecidos.

La ovulación críptica es una condición muy interesante que esta asociada con la evolución de la familia nuclear y aquí cabría señalar algunas otras características. Y, finalmente, diferencias que ya no son anatómicas sino del comportamiento (Fig. 11). Muy notablemente la gran inteligencia que poseemos; el lenguaje; la autoconciencia, sabemos que existimos como individuos, somos la única especie animal en que eso se sabe; utensilios y tecnología ya mencionados; ética, religión, arte; literatura y ciencia; instituciones políticas y códigos de leyes. Las diferencias anatómicas son muy importantes, las diferencias del comportamiento también lo son y en cierto sentido lo son mucho más.

Comportamiento

Inteligencia:

- abstracción
- categorización
- razonamiento

Lenguaje simbólico

Autoconciencia

Utensilios; tecnología

Ética y religión

Arte, literatura y ciencia

Organización y cooperación social

Instituciones políticas y códigos de leyes

Expresión sutil de emociones

Fig. 11

Turno de los contertulios

Juan José López-Ibor: Soy psiquiatra, me intereso por muchos aspectos de la naturaleza humana, y me parece importante que en la evolución se tengan en cuenta los aspectos emocionales y no sólo el pensamiento abstracto o pensamiento racional. Durante mucho tiempo el ser humano se ha considerado a sí mismo como un animal racional, hasta que el filósofo Pascal, en su obra “Los Pensamientos”, afirmó que esto no era así, que los pensamientos no son mas que la justificación que damos a nuestros sentimientos que son anteriores al pensamiento. Curiosamente, neurocientíficos como Antonio Damásio hablan de los marcadores somáticos como sustrato emocional a toda actividad racional. Y, más curiosamente todavía, existen experimentos neurofisiológicos fascinantes que consisten básicamente en enseñar una foto, una escena que es agradable o desagradable, muy cargada emocionalmente, y en los que la respuesta emocional surge en el cerebro entre 50 y 150 milisegundos después de haberla visto, mientras la respuesta racional tarda entre 250 y 350 milisegundos. El cerebro responde antes a la emoción que al pensamiento. Probablemente, el primero que lo expresó desde el punto de vista científico fue Darwin, en su libro “La Expresión de las Emociones en el Hombre y los Animales”, que publicó poco después de “El Origen de las Especies”, pero que le supuso muchos más tiempo de elaboración y redacción que este último. Yo creo que este aspecto emocional se ha soslayado con mucha frecuencia y que tenemos que pensar que el ser humano no es un ser únicamente racional sino que nuestras emociones son importantes en el funcionamiento del cerebro, en lo que pensamos de nosotros mismos desde el punto de vista fisiológico y también en la evolución, y eso lógicamente también fue recogido en los trabajos de Darwin.

Francisco J. Ayala: Muy bien dicho. Pero creo que es mejor que sigan haciendo los otros comentarios y al final yo intervengo, si creo que hace falta añadir o comentar algo.

Fernando Baquero: Yo soy microbiólogo, cosa que aquí puede parecer paradójica en un coloquio sobre evolución humana. Afortunadamente Francisco Ayala ha puesto a nuestros queridos microbios en la base de sus árboles filogenéticos y por lo tanto ello me permite justificar mi presencia.

Quería hacer un comentario sobre la pregunta, tal y como está planteada: cómo se ha producido la evolución del pensamiento abstracto, es decir, la evolución de la racionalidad como tal. Es verdad muchas de las cosas que hasta aquí se han comentado -incluso los pensamientos y sentimientos a los que se ha referido el Dr. López-

Ibor- son condiciones, como él mismo ha dicho, probablemente previas a la aparición del pensamiento abstracto. La bipedestación, el uso de las manos, la reducción del esfenoides y el aumento de la capacidad cerebral, podrían ser condiciones para el pensamiento abstracto, pero no aseguran, no determinan en sí mismas su aparición; de este modo, el origen de la racionalidad permanece como un enigma difícil de abordar.

¿En que se basa el conocimiento abstracto del hombre? Una posibilidad poco explorada es que el hombre no sea el único detentador de la racionalidad, sino que ésta exista ya previamente en la naturaleza, al menos en forma de estructuras lógicas, y que simplemente, de repente, esas estructuras racionales hayan sido descubiertas en un momento determinado de la evolución por el hombre. Es evidente que las cosas naturales tienen lo que podríamos llamar “una lógica”. Cuando uno observa las vías metabólicas y su regulación genética, se impone la certeza de la existencia de una lógica interna de los procesos que está sin duda acuñada por la evolución biológica que solamente deja pervivir, evolucionar, lo que ha alcanzado ciertos grados de lógica interna, de perfección, lo que se puede dar en llamar incluso “inteligencia interna” de los procesos. Por supuesto, no hablo de ningún tipo de diseño inteligente “*a priori*”, sino siempre de un resultado del refinamiento evolutivo, y frecuentemente basado en errores, estupideces e imperfecciones. Pero aún así, todo lo que existe en la naturaleza es porque puede existir, y para ello debe poseer una cierta lógica interna, que al apreciarla con nuestra mente, llamamos “racionalidad”. El hombre, en un momento determinado, fue seguramente capaz de comprender que las cosas ocurren lógicamente, que cuando caen unas “cosas” de los árboles éstas sirven para que crezcan nuevos árboles, que hay una lógica en que los insectos sean atraídos por las flores. Seguramente, en un momento determinado se dio cuenta de que existe una lógica en la naturaleza, y en otro momento *la reconoció* dentro de sí mismo.

Me pregunto si no hubo un momento-iluminación en que el hombre se dio cuenta, por primera vez, de que tenía una noción lógica dentro de sí, y que eso explicaba la naturaleza de las cosas, e incluso su propia naturaleza. Esta idea me ha sido sugerida hace ya tiempo por la lectura de Ibn Tufayl, Abentofail para los cristianos (1110-1198) el famoso médico de Guadix que, en su obra “El Filósofo Autodidacto” presenta a Hayy, un “niño salvaje” y que, captando la semejanza de su alma con lo que existe en la naturaleza llega a ser consciente de su propia inteligencia. Es sin duda interesante pensar que el hombre no es realmente un animal racional, sino sólo el animal que ha descubierto su racionalidad, y que esa racionalidad estaba previamente en la naturaleza.

Camilo José Cela: Quería volver sobre la pregunta de Francisco, ¿soy un mono?, y la respuesta natural es que, no, no soy un mono; soy un humano. De hecho, esta respuesta la habría podido dar, al menos teóricamente, cualquiera de los miembros del linaje humano, que se separó del linaje de los chimpancés, hace siete millones de años.

Pero la pregunta se transformaría entonces en la de si en realidad la idea de que somos humanos frente a los monos no vendrá dirigida por el hecho de que los únicos seres que en estos momentos los únicos parientes nuestros vivos, son precisamente los simios. En el caso de que existiese cualquiera de los miembros de nuestro linaje anteriores a los dos millones y medio de años —es decir, cualquiera de los ardipteos, o cualquiera de los australopiteos,— los pudiéramos ver y lográramos comprobar como actúan, me pregunto si no estaríamos situando la naturaleza alternativa a la humana en esos seres. Es decir, ¿en qué medida es humano un australopiteo, de acuerdo con lo que pensamos la inmensa mayoría de las personas que no tenemos formación especializada en estos asuntos?. Pienso que nuestro concepto de “humanidad”, coincide plenamente con lo que sabemos que es el género *Homo* y no con el mero hecho de ponernos en pie, que es la principal característica que distingue a los australopiteos de los simios. Creo que nos consideramos humanos por aquello que comenzó a hacer el género *Homo* dando lugar al inicio del aumento del tamaño cerebral, el desarrollo de las herramientas y todo lo que Ayala ha explicado muy bien que apareció cuando el cerebro, al crecer, dio un salto cuantitativo y cualitativo respecto de la idea de la humanidad. Es decir; somos humanos, pero de un tipo específico muy particular. Como dijeron de hecho quienes definieron el género *Australopithecus*, éste se sitúa en medio de los simios y de los humanos. Tal vez tuvieran cierta razón.

Manuel Martín Loeches: Yo creo que en esa pregunta hay también dos posibles temas a discutir, o dos posibles respuestas. Sí, tenemos el cerebro muy grande y el cerebro ha ido haciéndose cada vez más grande en el género homo, pero, ¿por qué razón? ¿Por qué es necesario tener un cerebro tan grande? ¿Por qué las ratas, tan numerosas en el globo, no tienen un cerebro tan grande? ¿Es que para adaptarse al medio no es quizá necesario llegar a tener el volumen cerebral que tenemos nosotros? ¿Es que, de alguna manera, incluso con una tecnología inferior, no podríamos haber llegado a ser estables? En definitiva, ¿Qué es lo que ha hecho que nuestro cerebro crezca cada vez más?

Y, un poco también al hilo de esto, otra posible cuestión que incita este planteamiento surge de la

propia respuesta a la pregunta ¿soy un mono?, técnicamente fácil de articular, “no soy un mono; soy un primate en cualquier caso o un simio”. Pero la cuestión es: ¿somos tan animales como cualquiera de los otros animales como usted ha señalado al principio de su presentación? Dentro de toda esa serie de organismos vivos, ¿nosotros somos realmente uno más? O, quizás se infiere en la respuesta a esa pregunta que podría haber algo más, algo que nos distinguiera. ¿O somos simplemente un experimento más, como todos esos millones de especies que ha habido en este planeta.

Francisco J. Ayala: Somos un experimento más, pero somos muy diferentes porque con los humanos, y voy a mencionar esto después, se ha introducido un nuevo modo de evolución, que es la evolución cultural. Hay mutaciones, innovaciones culturales, como las hay genéticas y estas innovaciones se pueden transmitir al resto de la humanidad, no solo verticalmente (de padres a hijos) como en la herencia biológica, sino que se pueden transmitir también hacia amigos, compañeros, y aun gentes de las generaciones anteriores. O sea, tenemos, como en la evolución biológica, los proyectos de la mente humana, a los que me estoy refiriendo como evolución cultural, tenemos la variación, tenemos la herencia, y tenemos la reproducción diferencial, selección natural. Y esta evolución es distintivamente humana. Se puede pensar en alguna evolución cultural en algunos animales, que manipulan el ambiente de una manera o de otra, pero son completamente triviales con respecto a nuestra manipulación del ambiente y eso sí que es un modo de evolución nuevo, completamente distintivo, y que está asociado con la inteligencia, con nuestra inteligencia.

Estoy de acuerdo con Camilo en que si hubiéramos visto un *Australopithecus*, sin saber la historia de los *Australopithecus* o *Ardipithecus*, y lo pudiéramos clasificar, seguramente se le clasificaría más como un simio, que como un humano. Ahora sabemos que eran homínidos, que eran antepasados nuestros, pero digamos que no sabíamos eso y no sabíamos lo que iba a pasar después en la evolución humana. Tú indicabas que a pesar de que tienen la postura bípeda todavía son en gran parte como simios, y de hecho el cerebro sigue siendo pequeño. No es la postura bípeda lo que nos hace distintivamente humanos, es principalmente nuestra inteligencia y todo lo que está asociado con ella, incluyendo la evolución cultural. Hay animales bípedos más o menos, incluso algunos mamíferos pequeños que funcionan bastante bien en dos patitas; los pájaros frecuentemente andan con dos patas nada más, los canguros avanzan principalmente con las patas traseras. Estas aproximaciones al bipedismo no son aproximaciones a la humanidad moderna. Yo creo que si hubiéramos visto a estos bípedos

antepasados nuestros, o si los pudiéramos considerar como personas procedentes de otro planeta, y sin saber que van a evolucionar a humanos, ante la pregunta ¿qué son?, diríamos Simios.

Con respecto a las emociones, estoy completamente de acuerdo, con lo que el Dr. López-Ibor ha dicho. Es claro que experimentamos las emociones antes que los aspectos más abstractos de nuestra inteligencia; las emociones vienen antes. Los animales tienen emociones también y por lo tanto estas son más fundamentales que las actividades más intelectuales, más abstractas. Sobre ello, hay mucho que decir y de todas maneras juegan un papel muy importante en la vida humana incluyendo, por ejemplo, en la evolución de la moralidad a lo que también aludiré algo más adelante.

La lógica del mundo tiene que serlo, por eso es un decir que hay leyes naturales. La ciencia moderna descubrió que existen estas leyes naturales que obedecen a una lógica, son leyes que cuando se empiezan a formular, empezando con Copérnico, Galileo y Newton, y llegando hasta los tiempos modernos, se pueden formular de manera sencilla, de manera abstracta; explican mucho y se pueden someter a prueba por medio de la observación o el experimento. Nuestra racionalidad es la que nos permite evaluar esa lógica de la naturaleza. Esa lógica de la naturaleza naturalmente no piensa. Fernando, creo que no quieres decir otra cosa diferente. Pero la lógica de la racionalidad humana es precisamente la que nos permite descubrir la lógica de la naturaleza que, a mi manera de ver y tu también lo has dicho así, es el resultado de la evolución biológica, la selección natural que conserva lo que tiene sentido y elimina lo que no tiene sentido, conserva lo que mejora la capacidad reproductiva de los individuos y elimina lo que es dañino, o perjudicial.

Fernando Baquero: Creo que has comprendido bien lo que quería decir, que la razón humana refleja una especie de reconocimiento de cierta compatibilidad entre nuestra razón y la lógica que existe en la estructura y en la función de las cosas naturales. Es el descubrimiento de que algo que está fuera de nosotros y que no piensa pero es sin embargo lógico. Lo que quería decir es que tenemos una representación adecuada de esa lógica dentro de nuestro propio cerebro, que existe una compatibilidad entre la estructura lógica de la naturaleza y la estructura lógica de nuestro pensamiento y eso me parece que puede tener una función generativa. Sin duda por eso sentimos tal placer al conocer en ciencia, porque conocer es siempre re-conocer.

No creo que debamos pasar la ocasión sin comentar en todo caso que, en nuestros días tenemos las secuencias genómicas completas del *Homo sapiens*, del Neandertal y de los

chimpancés, y eso nos ha llevado a poder comprender también cuales son las diferencias genéticas entre estos grupos de animales, que son sorprendentemente escasísimas aunque sin duda muy significativas.

Uno puede decir que quizá en el camino entre los chimpancés, los neandertales y el hombre ocurrieron eventos mínimos y triviales desde el punto de vista genético, eventos elementales, tan elementales como lo que ocurre cuando el agua al calentarse pasa de 99 a 100 grados, es una cosa nimia, algo sin apenas significación cuando pasa de 63 a 64 grados, pero que el mismo hecho aplicado a la temperatura de 99 grados tiene un efecto sorprendente, una “gran transición”: el agua empieza a hervir; creo como consecuencia de algún evento nimio también en un momento determinado algo empezó a hervir en nuestra evolución. La causa del cambio puede ser casi irrelevante, pero no su resultado; por eso las comparaciones genéticas y genómicas con nuestros antepasados son hasta cierto punto decepcionantes. Sin duda hay algunas cosas, los genes de evolución acelerada y algunas otras, pero resulta realmente sorprendente las pocas diferencias genéticas que podemos atribuir como causales de la humanidad, y frecuentemente no tanto genes sino más bien en secuencias reguladoras, entre los chimpancés, los neandertales y nosotros.

Francisco J. Ayala: Como el Dr. Baquero sabe muy bien, si comparamos el genoma, el ADN de los humanos, con el de los chimpancés. En los genes que tenemos en común, la diferencia es del 2% del ADN. Ello es un porcentaje pequeño, muy poco o mucho según se quiera ver. Tenemos tres mil millones de nucleótidos, de bases, y 2% de tres mil millones es un número bastante grande, son 60 millones. O sea que depende también de cómo se quiera ver, pero estoy de acuerdo con su planteamiento.

Además de las secuencias que tenemos en común en las que existe ese 2% de diferencia, hay un 4% del genoma que tenemos nosotros y no tienen los chimpancés, y otro 4% que tienen los chimpancés y no lo tenemos nosotros. Es decir que además del 2% en los genes que podemos reconocer en las dos especies, hay este otro 4% que es genoma, es ADN nuevo en los humanos o en los chimpancés. Seguramente lo que es más importante además del 2% de diferencia en los nucleótidos de los genes que codifican proteínas (que son los que identificamos principalmente como genes), son los genes reguladores, y sobre ellos es increíble lo que estamos descubriendo. En estos dos o tres últimos años se han descubierto tipos nuevos de genes que no sabíamos que existían y ni siquiera sospechábamos. Me refiero, por ejemplo, a los pequeños RNA, iRNA, y otros tipos de secuencias extrañas, muy interesantes, que antes

se las consideraba *ruído*, cosas que no contenían información, y que hoy sabemos que son secuencias de ADN pequeñas pero muy importantes porque controlan la expresión del resto de las secuencias.

Nos queda mucho por conocer, aunque hemos descifrado las secuencias de los humanos y de los

chimpancés. Mi analogía aquí sería que la situación es como tener el texto de un libro escrito en una lengua que no conocemos aunque sí sabemos la secuencia de letras. Eso es lo que sabemos del genoma humano, la secuencia de letras, pero la mayor parte de lo que está pasando, como se está expresando y demás, aun no lo entendemos.

¿Es el comportamiento moral un resultado de la evolución biológica?

Francisco J. Ayala: Cuando se habla del comportamiento moral, los filósofos tienden a decir que es el resultado de la evolución cultural humana, de las actividades humanas, de las experiencias humanas, las preferencias humanas a través de las generaciones en distintos grupos étnicos y en distintas épocas a través del tiempo. Es decir, los filósofos frecuentemente dicen que el comportamiento moral es el resultado de la evolución cultural. Estoy hablando de evolución cultural y cultura en un sentido muy amplio, refiriéndome a todas las actividades distintivas de la mente humana, las que no son estrictamente biológicas. La mayoría de los biólogos, sin embargo, responderían a la pregunta de manera diferente, dirían ¡no!, el comportamiento moral es un resultado de nuestra evolución biológica, somos morales porque somos humanos, y porque tenemos el cerebro desarrollado que tenemos y otros atributos. Lo que ocurre en este argumento es que filósofos y científicos están hablando de dos cosas distintas que las voy a identificar en un momento. Pero, voy a empezar de nuevo con las distinciones, las diferencias de anatomía, y luego las diferencias con respecto al comportamiento (ya vimos esas listas) (Figs. 10 y 11).

Podremos plantear así la misma cuestión que voy a discutir con respecto a la moral, con respecto a la religión, al arte, la literatura, a la ciencia y la tecnología y muchas otras características. La moralidad tiene características distintivas que hacen que resulte útil su consideración para comprender hasta que punto una característica es biológica y hasta qué punto es cultural.

La consideración que hay que tener en cuenta es que este libro, los dos genomas que tenemos (uno del padre y el otro de la madre), cada uno de ellos contiene tres mil millones de letras, y si lo fuésemos a imprimir se necesitarían 500 volúmenes del tamaño del Quijote, simplemente para imprimir la secuencia de un genoma humano, y si fuese la de los dos genomas, se necesitarían 1000 volúmenes. Hay ahí muchísima

información, sabemos el alfabeto, sabemos las secuencias de letras, pero no sabemos como leerlo todavía, estamos todavía aprendiendo a hacerlo. Parecerá increíble, y a veces tratamos de convencernos de que hemos hecho muchos avances, pero todavía sabemos muy poquito del significado que tiene esa secuencia, de tres mil millones de letras en el ADN de cada genoma.

Los dos consideraciones que quiero establecer como distinción a las que me refería son las siguientes (Fig. 12).

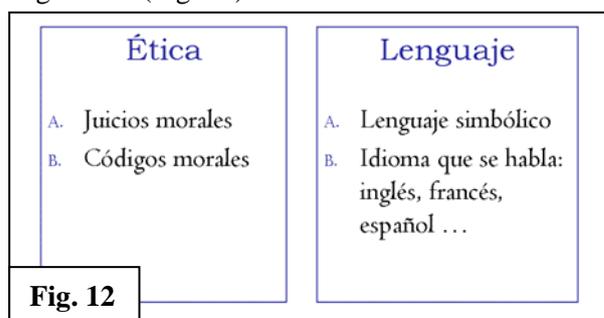


Fig. 12

Cuando los biólogos hablan de si la moralidad está determinada por la evolución biológica, se están refiriendo principalmente a la capacidad que tenemos de formar, de hacer juicios morales, es decir de juzgar unas acciones como buenas o malas. Y esto, como trataré de convencerles dentro de un momento, es el resultado de la evolución biológica. Pero la capacidad de hacer juicios morales es muy distinto de los códigos morales, es decir las normas con arreglo a las cuales decidimos que es lo que es bueno y que es lo que es malo. La capacidad nos viene de la biología, las normas, las reglas nos vienen de la evolución cultural. Para hacer más explícita esta diferencia, hago aquí una comparación con el lenguaje (Fig. 13).

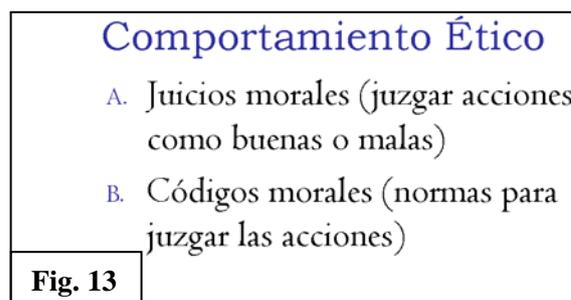


Fig. 13

Evidentemente, la capacidad que tenemos de lenguaje simbólico creativo, que es distintivamente humano, es algo muy distinto del idioma que se habla, y la capacidad de hacer juicios morales es muy distinta de los códigos morales, las normas morales. En el caso del lenguaje, la capacidad de ejercerlo nos viene de la biología, como la capacidad para plantear juicios morales. Pero, los códigos morales vienen de las tradiciones culturales, de manera semejante a como los lenguajes son resultado de la evolución cultural.

La razón por la que arguyo que la capacidad de hacer juicios morales es biológica, la fundamento en que las tres condiciones necesarias para que exista comportamiento moral nos vienen de la herencia biológica, de la evolución biológica (Fig. 14).

Condiciones necesarias para hacer juicios morales

1. Capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias
2. Capacidad de hacer juicios de valor
3. Libre albedrío

Fig. 14

La primera es la capacidad de anticipar las consecuencias de las acciones propias. Para que haya juicios morales, tenemos que anticipar las realidades que van a venir después, o sea las consecuencias de nuestras acciones: apretar el gatillo en sí no es una acción moral. Hacerlo se convierte en una acción moral si yo sé que al apretar el gatillo se va a disparar la bala que va a matar a mi enemigo. Apretar el gatillo en sí no es una acción moral, se torna moral en términos de las consecuencias. Anticipar las consecuencias de las acciones requiere formar imágenes mentales de realidades que no están presentes. Es el mismo argumento que hacía yo, lo que se necesita para construir utensilios, hay que formar imágenes mentales del uso que se va a hacer de este objeto, de este utensilio que yo quiero producir. Este es el resultado de la inteligencia extraordinaria que tenemos los humanos, el aumento del cerebro y lo que conlleva. Por ello, la capacidad de hacer juicios morales está enraizada en la capacidad de anticipar el resultado de nuestras acciones. Ello enlaza con la idea de que son estas capacidades, más que el bipedismo, las que nos llevan al desarrollo y uso de las herramientas y esto lleva al crecimiento cerebral. Y fue seguramente el uso de las herramientas lo que llevó a desarrollar y aumentar gradualmente, y eventualmente sobremanera, la capacidad de anticipar el futuro.

Para que haya moralidad, además de tener la capacidad de anticipar acciones, anticipar el

futuro, se requiere que haya una capacidad de hacer juicios de valor, es decir, juzgar unas cosas como preferibles a otras. Hay juicios de valor de muchas cosas, hay juicios de valor moral, cosas que son moralmente buenas y cosas que son moralmente malas o que las consideramos como tales; hay juicios de valor estéticos, nos gusta una cosa más que otra; o económicos, preferimos generalmente tener dinero a no tenerlo (Fig. 14).

La capacidad de formar juicios de valor requiere la capacidad de abstracción. Cuando yo les indicaba la existencia de características del comportamiento humano que nos distinguen de los animales, me refería a la capacidad de abstracción o la capacidad de categorización. Me refiero con esa palabra a la capacidad de ver objetos o acciones individuales como miembros de clases generales, porque esto es lo que permite hacer juicios de valor. Así, con respecto a valores gastronómicos, yo veo este objeto que es una manzana, y reconozco que es una manzana porque lo veo como miembro de esta categoría general, que se llama manzana, y que basado en mi experiencia me gusta más que este otro objeto que es una pera; lo tengo que reconocer como miembro de esa otra categoría, y esto es lo que me hace comparar dos objetos individuales, reconocerlos como miembros de clases generales antes de hacer juicios de valor, prefiero esto a lo otro. Esto es lo que hacemos también con los juicios de valor morales, tenemos que tener la capacidad de hacer juicios de valor para que haya moralidad, si no, ésta no existe.

Finalmente necesitamos libre albedrío (Fig. 14). Para que haya moralidad tenemos que tener la capacidad, la posibilidad, de no hacer una acción. Si no tenemos libertad de apretar o no el gatillo, apretarlo no sería una acción moral. La digestión de la comida o la circulación de la sangre normalmente no las consideramos como acciones morales. Pero, para que haya moralidad tiene que haber libre albedrío, tiene que haber libertad. Tenemos que tener la posibilidad de elegir entre apretar el gatillo o no apretarlo.

El libre albedrío es un problema filosófico muy difícil y complejo y no es este el momento apropiado para discutirlo en extenso. Creo que todos tenemos la experiencia de que la libertad, el libre albedrío, es un fenómeno real que hace que cuando estamos enfrentados con la posibilidad de una acción, tengamos la libertad real de apretar o no apretar el gatillo, o de ir a un sitio o de no ir a otro. La experiencia común nos hace creer que la libertad es una realidad característica de los seres humanos y lo voy a dejar ahí.

Todos estos tres atributos (anticipar el futuro, hacer juicios de valor y el libre albedrío) nos vienen de nuestra inteligencia avanzada, la que nos hace distinguir posibilidades y explorar nuevas posibilidades. Cuando estamos confrontados con una posible acción y nos planteamos la opción de si queremos llevarla a cabo o no,

mentalmente podemos empezar a explorar nuevas alternativas y decidir qué es lo que queremos hacer o no hacer. Esto nos viene de la inteligencia avanzada que nos hace posible formar imágenes mentales de realidades que están o no están presentes pero que las podemos explorar como alternativas y elegir entre ellas libremente.

Este es el argumento que yo avanzo sobre la capacidad de hacer juicios morales. Es un resultado de la evolución biológica porque está ligado a las tres capacidades citadas que poseemos, que a su vez derivan de la inteligencia avanzada que es un resultado de la evolución biológica (Fig. 14).

Con respecto a los códigos morales, la respuesta es muy distinta y, de nuevo para que tengan clara la distinción, acuérdense de la comparación que hice con el lenguaje, la diferencia entre la capacidad del lenguaje simbólico y el idioma que se habla, la diferencia entre la capacidad de hacer juicios morales y los códigos morales que usamos (Fig. 13). Creo yo que no cabe duda que los códigos morales son resultados de la evolución cultural. Para que haya evolución cultural, como decía durante nuestro diálogo anterior, tienen que darse tres características: haber variación, haber herencia, y haber selección natural. También para la evolución de la moralidad, con características propias muy interesantes, primero tiene que haber variación, y no cabe duda que con respecto a los códigos morales hay variación entre individuos y entre grupos y variación a través del tiempo (Fig. 15).

Los códigos morales son productos de la evolución cultural

- Variación entre individuos
- Variación entre grupos
- Variación histórica

Fig. 15

Hoy día, si consideramos por ejemplo, un grupo tan homogéneo culturalmente como los que estamos aquí, seguramente que si planteásemos ciertas cuestiones, por ejemplo nuestra manera de ver el aborto, u otras cuestiones que se plantean a veces con respecto al comportamiento moral, no tendríamos todos los mismos puntos de vista. Es un ejemplo que permite ilustrar que hay variación con respecto a los valores morales. Más aun, ciertamente, entre grupos. Si vamos a otras partes del mundo, a otras culturas, los valores morales pueden ser muy diferentes de los nuestros. Hace unos meses causó horror la noticia de que en un país del Oriente Medio una mujer casada que había sido violada era condenada a morir por lapidación porque había traído

vergüenza a la familia. No es que hubiera ella cometido un adulterio voluntariamente que pudiera o no ser considerado suficiente razón para condenarla y que en muchos sitios no lo consideraríamos motivo para ello. No había adulterio, había sido una violación y sin embargo en cierta cultura eso se consideraba suficiente y justo para avanzar la pena de muerte.

Y variación histórica. De nuevo, a través del tiempo los valores morales han cambiado tremendamente. En la generación de mis padres y de mis abuelos, y me imagino en generaciones muy anteriores, se creía, siguiendo el mandato bíblico, que cuantos más hijos se tuvieran era mejor. Hoy, muchos entre nosotros vemos que hay una necesidad de limitar el número de hijos, que tenemos un problema de explosión de población. Se pueden poner muchísimos ejemplos más de variación a través del tiempo histórico con respecto a los valores morales.

Tenemos pues variación y tenemos herencia. Es muy importante la distinción entre la herencia biológica y la herencia cultural (Fig. 16). La herencia biológica es vertical, va de padres a hijos y nietos y demás. La herencia cultural no sigue esas reglas y la podemos transmitir no sólo a nuestros hijos sino a cualesquiera otros miembros de la sociedad en que vivimos, estén relacionados con nosotros o no. Esto hace que la transmisión de la herencia cultural sea mucho más eficiente que la transmisión de la herencia biológica. En el caso de la cultura, la transmisión se hace por medio de la enseñanza, de la imitación y la asimilación.

La evolución cultural depende de la herencia cultural

- Transmisión por enseñanza, imitación y asimilación
- Transmisión horizontal además de vertical
- Herencia lamarckiana: los caracteres adquiridos son heredados

Fig. 16

La herencia de la cultura es herencia lamarckiana, un término técnico que los biólogos y los genéticos conocen muy bien y que quiere decir que en la herencia cultural los caracteres adquiridos se heredan, lo que aprendemos lo podemos transmitir, lo que resulta obvio y no les resultará extraño. Pero, con los genes no es así. Si un hombre o una mujer que se acaban de casar quieren tener hijos que tengan buenos músculos, que sean fuertes y saludables y para ello se van al gimnasio y ejercitan y desarrollan su musculatura, ello no va a hacer que los hijos nazcan con buenos músculos. Ahora sabemos que eso biol-

gicamente no ocurre y que la llamada herencia lamarckiana no es correcta. Los caracteres adquiridos por los cambios que se producen en nuestro cuerpo como adultos, no son transmitidos a la prole. En cambio, con los cambios culturales sí sucede. Lo que aprendemos o lo que nos enseñan o simplemente descubrimos nosotros se puede transmitir. De nuevo esto contribuye al poder tremendo que tiene la herencia cultural.

Selección cultural: Transmisión diferencial

Ejemplo de creencias: monoteísmo

Ejemplo de normas morales: los diez mandamientos

Fig. 17

Además, hay transmisión diferencial, es decir, selección natural (Fig. 17). Aquí pongo dos ejemplos relacionados entre sí. Primero, el monoteísmo. Hoy día en el mundo aproximadamente la mitad de la humanidad, algo más de 3.500 millones de personas, aceptan el monoteísmo, la idea de que existe un Dios creador universal, omnipotente, benevolente. El monoteísmo en ese sentido se introduce en el mundo en el siglo VII a. de C. Según los historiadores de la religión y los teólogos, durante la cautividad de Babilonia, cuando se llevan a los judíos y se quedan allí durante varias décadas de años, es cuando aparecen varios de los grandes profetas, y son estos los que cambian sutilmente la concepción de los israelitas, de un monoteísmo de la tribu, que es lo que tenían, a un monoteísmo universal. La idea anterior era que cada tribu tenía su propio dios; o sea, el dios de Moisés, no es el dios del monoteísmo actual, es el dios de los israelitas que estaban en Sinaí, en el desierto, huyendo de Egipto, y por eso se prohíbe dar culto a los dioses de otras tribus, porque hay que dar culto solo a su Dios. Me estoy refiriendo a lo que los historiadores de la religión dicen. A partir de entonces, ese monoteísmo de un Dios universal único, que aparece durante la cautividad de Babilonia entre los israelitas, una tribu relativamente pequeña, probablemente a lo sumo de unos miles de individuos, será esparcido a 3.500 millones de personas en el mundo actual. Se trata de una selección diferencial enorme, mientras que otras ideas religiosas o morales no se han transmitido. Sucede lo mismo con los Diez Mandamientos que Dios revela a Moisés según la narrativa del Génesis, de nuevo en esa tribu pequeña y que luego aceptan los cristianos, los musulmanes y los judíos. La transmisión de la cultura puede ser eficiente de una manera

enorme. Hay selección natural, transmisión diferencial con respecto a los valores culturales.

Que además de la selección cultural de la que les hablaba hace un momento, con respecto a los valores morales también entran en juego para muchas personas creyentes, la fe y la autoridad divina. Hay cosas que se aceptan no por tradición cultural, sino porque se cree que es un mandato de Dios, lo que es también una forma de cultura (Fig. 18).

Además de selección cultural

- autoridad civil
- autoridad divina

Ejemplo: Moisés en el Sinaí

Fig. 18

Y, de nuevo, como ejemplo de la autoridad divina, puede servir el ejemplo de Moisés y los Diez Mandamientos. Pero además, hay también la autoridad civil, que es también una fuente de comportamiento moral. Vamos en coche y paramos enfrente de una luz roja; parece una cosa trivial, pero de hecho es una obligación moral que aceptamos y cumplimos por las consecuencias que puede tener. Son normas que nos vienen de la autoridad civil.

En conclusión, el punto principal en el que quiero hacer énfasis, es que los valores morales nos vienen principalmente de las tradiciones culturales mientras que la capacidad de la moralidad nos viene principalmente de la herencia biológica.

Turno de los contertulios

Manuel Martín Loeches: En primer lugar, hay que tener en cuenta que el tema del libre albedrío es muy complejo. En neurociencia se piensa que es más bien una ilusión porque muchas veces el sentido común está en contra de la realidad, como se demostró con la creencia de que el Sol gira alrededor de la Tierra, etc. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que el sentido común muchas veces no sirve para explicar los hechos.

Aparte de eso, estoy de acuerdo con prácticamente la totalidad de su exposición, aunque creo que habría que resaltar más las emociones y el comportamiento social. Ha hecho Vd. mucho hincapié en la inteligencia, el razonamiento abstracto y las capacidades cognitivas superiores, pero creo que en la moralidad también tienen un

gran papel estas últimas porque -en mi opinión- el comportamiento moral tiene mucho que ver con la regulación de los miembros de un grupo, y muchas veces en nuestra forma de comportarnos moralmente nos comportamos como con el lenguaje, es decir, juzgamos las cosas moralmente pero sin saber muy bien porqué. No utilizamos tanto la inteligencia o el razonamiento para justificar porqué es moralmente aceptable hacer esto y no hacer lo otro. Simplemente hay una tendencia interna, inconsciente, que nos dice “esto no es aceptable”, “esto sí es aceptable”. Hay mucho automatismo en ello, mucha emoción; más que racionalización, inteligencia, abstracción, etc. Creo que el comportamiento humano se explica más por las emociones de una especie que es altamente social que por el razonamiento u otra serie de comportamientos.

Juan José López-Ibor: Además de felicitarle por las dos exposiciones, que son maravillosas y muestran que el título de profesor lo tiene bien merecido, quería hacer un comentario que va un poco en línea con mi comentario anterior. Lo que antes quería decir, o lo que subyacía a mi comentario, y que es también una pregunta, es si la evolución no es solo biológica sino también emocional y psicológica. Y eso también lo dijo Darwin, porque el libro que he citado, “La Expresión de las Emociones”, tiene imágenes de los músculos faciales. Los seres humanos tenemos 47 músculos faciales, los cuales no son antigravitatorios, no sirven para mantenernos de pie, como el cuádriceps femoral, por ejemplo. Todos tienen una inserción en el hueso y otra en la piel, sólo sirven para mover la piel, para expresar emociones. Mi comentario ahora es que quizás la evolución también es simultáneamente social. A mí, quien me ha desvelado esta cuestión es un investigador norteamericano llamado Michael Lovaglia que ha estudiado el comportamiento de los primates, de los chimpancés, de los chimpancés enanos o bonobos, e intenta resolver lo que se llama el oxímoron de la especie humana, que es la especie más solidaria y al mismo tiempo la más violenta contra ella misma. Cuando explico esto a los alumnos, les pongo una foto de la madre Teresa de Calcuta y otra de Hitler; los dos son seres humanos pero sus comportamientos son muy distintos. Lorenz, el padre de la etología, decía que la especie humana se caracterizaba por ser la única que tenía agresividad intraespecífica aunque luego se ha visto que también los otros primates la tienen, gracias a los trabajos de grandes primatólogas como Jane Goodall o Dian Fossey en las montañas de Virunga.

Los bonobos, los chimpancés, incluso los gorilas, son extraordinariamente agresivos y violentos. Lovaglia utiliza la palabra xenófobos para referirse a los chimpancés en relación a los de otro grupo. El problema radica en cómo identi-

fica uno a su propio grupo y al otro grupo. Él explica que todo el comportamiento de los grandes simios va dedicado a identificar cuáles son de su grupo y cuáles no: se miran constantemente a la cara, van mirando y van identificando amigos de enemigos; con los amigos son solidarios y con los enemigos no lo son. La tesis de Lovaglia es que los homínidos son enormemente solidarios con las personas de su grupo y violentos con los que identifican como pertenecientes a otro grupo.

Partiendo de esto, Lovaglia sostiene que la evolución es biológica y social, y que el desarrollo del cerebro viene determinado por la necesidad social de distinguir amigos de enemigos. Algunos de los homínidos más antiguos, a pesar de disponer de cerebros relativamente pequeños tenían algunas herramientas, pero su cerebro se siguió desarrollando. Y es que hay que pensar que para mover la musculatura facial hace falta mucho cerebro, pero para interpretar en la especie humana qué significan las contracciones y relajaciones de 47 músculos faciales hace falta muchísimo más. Y a mí eso me parece enormemente interesante porque explica muchas cosas de las que a mí como psiquiatra me interesan: por qué la gente tiene comportamientos agresivos, por qué rechazamos a las personas que tienen comportamientos agresivos, o por qué existe tanta violencia social.

Para el socio o el fan de un club de fútbol, lo primero que sucede en la identificación es que todo lo mío es lo bueno y todo lo malo lo es de los de enfrente. Para los “ultras” o como se llaman los socios violentos de un equipo de fútbol todo lo que hay en su grupo es maravilloso y todo lo que hay fuera de su grupo hay que destruirlo por principio. Esos comportamientos ya estaban en los homínidos muy anteriores, hace millones de años y, por tanto, lo importante es distinguir al amigo del enemigo, y la especie humana debiera llevar a cabo esa transformación de la que ha hablado antes Fernando Baquero. De cómo el monoteísmo de la tribu se convierte en el monoteísmo de toda la especie humana y de toda la naturaleza, y de todas las leyes de la naturaleza. Es decir, podemos entender las leyes de la naturaleza porque son las mismas que están en la cabeza del Dios creador, en la naturaleza creada y en el pensamiento humano: esa es toda la historia del monoteísmo. Para mí, el ejemplo de cómo el monoteísmo tribal se convierte en monoteísmo universal, por así decirlo, ha sido un hallazgo esta noche.

Fernando Baquero: Una vez más tengo que justificar mi presencia como microbiólogo aquí porque, ¿qué relación tienen los microbios y la moral?, sin referirme, como es claro, en el caso de la gonococia. Lo que quisiera decir es que a largo de toda mi vida -y conozco probablemente mejor e incluso aprecio más, al menos colectiva-

mente, a las bacterias que a los humanos-, a lo largo de mi prolongada vida en contacto con los microbios, he llegado a reconocer en el mundo microbiano lo que se pueden denominar comportamientos elementales. Existen en las bacterias comportamientos elementales, las bacterias son capaces de elegir entre opciones, no entre una manzana y una pera, como ha dicho Francisco Ayala, sino entre un azúcar y otro, pueden reconocer y huir de peligros químicos, incluso reconocen la cantidad de individuos microbianos que le rodean y actuar en consecuencia. Por supuesto poseen mecanismos de estrés que llevan a comportamientos característicos. Pueden tener reacciones de agresividad frente a sus vecinos y ostentan comportamientos de grupo oponiéndose a otras bacterias que compiten por los mismos elementos. Es decir que, así como antes se ha hablado de la prehistoria de la racionalidad en la naturaleza, creo que también existe una especie de prehistoria de los comportamientos en los seres, incluso unicelulares. Por supuesto que se trata de comportamientos automáticos; no quiero decir que crea que están guiados por ningún tipo de pensamiento, ni lo creo ni es así seguramente. Lo que ocurre es que en un momento determinado de la evolución, esos comportamientos que son automáticos, que son celulares, -y en ese sentido tomo la argumentación de Juan José López Ibor-, se vieron revestidos de sentimientos. Las actividades que se consideran “adecuadas a la biología de cada ser” (y, en último término, a su reproducción y al bien de la especie) producen de un placer, que es como la consciencia de lo que es bueno; el azúcar es bueno y está bueno; muchos tóxicos o los alimentos podridos son y están malos. Es curioso que digamos “esto está malo” cuando no debemos comerlo, o “está malo” cuando alguien está enfermo. y la expresión indica la relación entre la moral y la persistencia biológica. Lo que es malo es sufrir, lo que es bueno es comer, beber, el sexo, abrazar a un hijo, vivir y dar lugar a nuevos individuos. Eso es lo que debo hacer y se me premia con un sentimiento.

Los sentimientos premiaban comportamientos elementales, probablemente preexistentes. Así es que, seguramente, el sentimiento era un mecanismo reforzador de comportamientos automáticos previos. Y estoy de acuerdo con Juan José que probablemente esto se potencia aun más en la vida social: el imperativo categórico de Kant es el ejemplo más característico de esto. Cuando Kant dijo: “Dos cosas llenan el ánimo de admiración y respeto: el cielo estrellado sobre mí y la ley moral dentro de mí” lo que afirmaba era el reconocimiento en el otro de los mismos sentimientos que tengo yo y, por lo tanto, el ponerse en lugar del otro como suprema norma moral. Cuando el hombre fue capaz de reconocer sus sentimientos viendo a la cara del otro, las lágrimas del otro, cuando el hombre fue capaz de reconocerse a sí

mismo en el otro, entonces es cuando empezó realmente el sentimiento moral. Pero todo eso es, en mi opinión, el resultado de la preexistencia de comportamientos que fueron después arropados por sentimientos.

Camilo José Cela: Siento tener que apartarme tanto de la opinión generalizada de los contertulios pero me gustaría volver al núcleo central de lo que era la argumentación de Francisco Ayala: la existencia de un aspecto de la estructura de la moral que está genéticamente determinado y ha evolucionado desde el punto de vista biológico frente al contenido cultural, que es histórico y diverso y, por tanto, no tendría ningún tipo de correlato con la evolución biológica. Ésta es la postura más aceptada de forma general entre todos quienes han escrito sobre estas cuestiones, incluido yo mismo. Pero pienso que tal vez sea el momento de dar un salto adelante intentando ir mas allá de este modelo. Da la impresión de que, en realidad, entre la estructura y el contenido podría no haber una frontera tan nítidamente establecida y que, en alguna medida, la estructura, la manera que tiene nuestro cerebro de proceder a ejercer el juicio moral, podría en cierto modo incluir algún tipo de contenido. De hecho, a esto se refirió Kant cuando habló de los universales morales, y a esa conclusión llegó mucho más tarde es el filósofo también alemán Ernest Tugendadt al plantear que el sentido de lo que para nosotros es bueno incluye un contenido acerca de lo que quiere decir eso de “la bondad”. De hecho, la aplicación al terreno jurídico de este principio llevó a la Teoría de la Justicia de John Rawls, a la “Justice as Fairness”, es decir, a la justicia como igualdad, a la justicia como elemento que no puede ser justificado por razones ni culturales, ni tampoco históricas.

Pues bien, la cuestión tal vez más interesante al respecto sería que, aunque es verdad que los experimentos de Brosnan y de Waal con monos puedan llevar a algunas dudas respecto a cómo fueron hechos, la sospecha de quizá en otras especies exista también este tipo de contenido de “justicia” que no puede de ninguna manera justificarse en términos ni culturales ni históricos. Me refiero al comportamiento de los monos capuchinos cuando rechazan el intercambio de fichas por determinado tipo de comida al sentirse peor tratados que otros miembros del propio grupo. Esto correspondería a una especie de sentido profundo de lo que es la justicia y que, en el caso del ser humano, llevaría a la idea tanto kantiana como propia de Rawls: solamente pueden ser justas algunas cosas, no cualesquiera. El hecho de que tales cosas puedan ser justas frente a las que no pueden serlo de ninguna manera, nos haría volver a la idea de los universales que relacionan la estructura con el contenido.

Francisco J. Ayala: Quisiera hacer de nuevo algún comentario con respecto a ciertos condicionamientos para valores morales. Una de las muchas cosas que no he dicho, porque no se puede decir mucho en 15 minutos, es que los valores morales siempre tienen una implicación o un condicionamiento biológico. Cualesquiera valores morales que sean completamente contrarios a nuestra biología no van a tener éxito. Digamos, por poner un ejemplo un poco extremo y ridículo, si hubiera una tribu, un grupo de individuos en que el valor supremo moral fuera el estado célibe, entonces todos aquellos que fueran célibes tendrían gran valor moral, pero esa tribu se acabaría en una generación. Por eso, hay cosas como los crímenes y hasta cierto punto el derecho de propiedad, que se consideran como valores morales universales -no matar y no robar- porque están condicionados en gran parte por nuestras condiciones biológicas. Pero no se trata de lo mismo de lo que Kant hablaba; con sus universales él se refería más bien a cuestiones de principio.

También deseo añadir que no cabe duda que lo que ahora en inglés se llama “empathy”, y que supongo se traducirá por “empatía” en castellano, juega también un papel muy importante en nuestras preferencias y en nuestros juicios morales. La empatía se refiere a sentir en uno mismo, tratar de identificarse uno mismo con los sentimientos de otra persona, o de otro animal en el caso de los animales. Varias especies animales tienen, hasta cierto punto, este tipo de empatía y no cabe duda que ello juega un valor importante en la evolución de la moralidad.

En relación a la intervención del Dr. Baquero, yo creí que iba a poner ejemplos dramáticos como el de *Dictyostelium*, que son una especie de amebas sociales. Se trata de células individuales pero cuando las condiciones del ambiente son adversas comienzan a unirse y se convierten en un organismo multicelular que crea como una especie de arbolito con una corona arriba y ahí se empiezan a formar esporas, y en vez de reproducirse por división como se estaban reproduciendo hasta entonces, al haberse convertido en un organismo multicelular ya hay diferenciación de funciones biológicas incluyendo algunas de las células que se convierten en

células reproductoras, esporas, mientras que otras se convierten en células que controlan el movimiento de este organismo. Es un fenómeno social.

Cosas así existen con otros organismos. Lo que pasa con la vida, lo bonito de la vida, la gran ventaja que tenemos los biólogos -sobre todo los que estudiamos la evolución- es que hay una diversidad enorme en el mundo de la vida, porque podemos observar muchas de las simplificaciones de organismos unicelulares, las bacterias, las Archaea y gran parte de los eucariotes, pero observamos a la vez como hay organismos unicelulares que se convierten en multicelulares, y al revés.

El estudio al que se refirió Camilo es algo bastante esotérico para la mayor parte de ustedes: Frans de Waal, antropólogo de Duke University en el estado de Carolina del Norte en Estados Unidos, hizo un estudio en que entrenaba a los monos capuchinos para que aceptaran y exhibieran ciertos comportamientos y les premiaba - así es como se entrena a estos animales- con un bocadito de manzana. Lo que hacía era colocar a dos capuchinos viéndose el uno al otro y les provocaba para evocar los comportamientos que él deseaba, y entonces les daba el premio, pero a uno le daba un trocito mucho más pequeño que al otro. Lo que sucedía es que el que recibía el trocito más pequeño lo rechazaba, y esto lo interpretaba Frans de Waal como una percepción de la justicia de valores, de considerar que los premios deben de ser iguales para comportamientos iguales.

Parece ser que la tesis de Frans de Waal ha sido rechazada con otros experimentos en los que no merece la pena entrar en detalle, pero sí diré que pasaba lo mismo aún cuando no estuviera presente el mono al que se le daba el trozo más grande. Otros científicos entrenaron a uno de estos capuchinos para que exhibiera cierto comportamiento cuando se le daba un trocito de manzana y, posteriormente, cuando lo presentaba de nuevo y le daban la mitad, entonces no lo quería, lo rechazaba. O sea que no se trataba tanto del sentido de justicia como del hecho de querer más, y de tener que trabajar para ello.

¿Puede el hombre controlar su propia evolución como especie?

Francisco J. Ayala: Creo que esta pregunta se podría entender de varias maneras y con el fin de que quede tiempo para la discusión voy a soslayar casi todo lo que tengo en mis diapositivas y voy a formular verbalmente - aunque tengo algunas diapositivas para ello- un argumento, que es el siguiente: existe una evolución biológica continua en los seres humanos que se puede demostrar con los estudios genéticos de poblaciones tras calcular las nuevas mutaciones y la reproducción diferencial.

Sí, podemos controlar nuestra propia evolución biológica hasta cierto punto, pero se trata de algo trivial, en el sentido siguiente. No quiero decir que no sea apropiado curar enfermedades, cambiar genes, corregir genes defectivos y demás. Lo que es importante es que los humanos, hoy en día, ya no nos adaptamos principalmente por medio de la evolución biológica sino que nos adaptamos gracias a la evolución cultural. Por decirlo de otro modo, en la evolución que está teniendo lugar en la humanidad no es que los genes se modifiquen para enfrentarse a los cambios ambientales o para adaptarse a un nuevo ambiente, lo que hacemos es modificar el ambiente con arreglo a lo que es conveniente para nuestros genes. Así es como llevamos a cabo la evolución cultural. Voy a dar un par de ejemplos sencillos para tratar de transmitir esta idea.

Nuestra especie *Homo sapiens* apareció en África tropical hace unos cien mil años. Los humanos seguimos siendo animales tropicales: en cien mil años han pasado 4.000 ó 5.000 generaciones, lo cual es un tiempo muy pequeño en la escala de la evolución. La evolución necesita muchos miles de generaciones o millones de generaciones para tener efectos notables. O sea que seguimos siendo animales tropicales que necesitamos estar más o menos a 25° centígrados para que nuestro cuerpo trabaje adecuadamente y no funcionamos bien a temperaturas más bajas ni más altas. Sin embargo, hay gente que vive en Escandinavia, y en Siberia y Alaska, donde la temperatura media no es de 25° ni muchísimo menos. Lo que les hace posible vivir allí no es la adaptación fisiológica a las bajas temperaturas; simplemente crean la temperatura apropiada para un animal tropical por medio de la ropa, la vivienda, el fuego y, hoy en día, la calefacción.

Viajamos por los ríos y los mares de manera mucho más eficaz que ningún pez; no hemos tenido que esperar a evolucionar agallas y aletas, lo hacemos construyendo barcos. Volamos mejor que ningún pájaro sin haber evolucionado alas; construimos aviones. Así es como es la evolución humana hoy en día, y podemos poner todo tipo de ejemplos: cómo nos adaptamos, cómo nos enfrentamos al ambiente no es modificando nuestros

genes con arreglo al entorno concreto en que estamos viviendo, o a la circunstancia particular a la que nos enfrentamos, sino cambiando el ambiente con arreglo a nuestras necesidades genéticas.

Quiero mostrar dos últimas diapositivas porque expresan lo que les puedo decir con palabras en este momento (Fig. 19).

Evolución cultural:

Mucho mas eficiente como adaptación al ambiente que la evolución biológica.

- Más rápida. Puede extenderse a toda la humanidad en menos de una generación
- Mutaciones diseñadas (inventos y descubrimientos), no resultados de azar
- Cumulativa, sin reemplazo necesario

Fig. 19

Hace un momento les estaba poniendo como ejemplo que durante los últimos milenios la humanidad se ha adaptado cambiando el ambiente de acuerdo a las necesidades de sus genes y no a sus genes según las demandas del ambiente. Podemos aducir como ejemplo la colonización de los continentes, la conquista del mar, del aire y del espacio astronómico, el cual estamos empezando a conquistar. No es que no estemos cambiando biológicamente, evolucionando biológicamente, ya les he dicho que sí lo estamos haciendo y se puede demostrar, pero la evolución cultural tiene características que le dan gran ventaja sobre la evolución biológica y están resumidas, algunas de ellas, en esta figura (Fig. 19).

La evolución cultural es mucho más eficiente modo de adaptarse al ambiente que la evolución biológica, primero porque es mucho más rápida y se puede extender a toda la humanidad en menos de una generación. Una mutación genética espontánea que resulta ser favorable para la especie humana o un cambio genético que nosotros introducimos en un individuo, para que se extienda a toda la humanidad porque creemos que va a ser conveniente necesita miles y miles de generaciones. Una invención cultural, un descubrimiento, que eso es lo que son las mutaciones culturales (invenciones o descubrimientos) se puede extender a toda la humanidad en una generación. Tengo aquí mi móvil; tenemos teléfonos móviles que hace una generación no existían y son una adaptación al ambiente muy importante. Ello no quiere decir que no tenga también consecuencias negativas, muchas de las adaptaciones las tienen, pero es un ejemplo de cómo se extiende una innovación a toda la humanidad en menos de una generación. Es algo mucho más rápido que la expansión de una mutación biológica.

Además, las mutaciones biológicas ocurren espontáneamente o hay que modificarlas intencionadamente con arreglo a modelos de genes de los que disponemos, mientras que las mutaciones culturales, los inventos y descubrimientos no son resultados del azar sino que son invenciones y descubrimientos que hacemos porque son beneficiosos económicamente, culturalmente o con respecto a la salud u otros temas.

En el caso de la evolución biológica, si tenemos un gen que cambia, que nos va a servir para adaptarnos a un nuevo ambiente, cuando ese gen se va extendiendo a la especie -tanto en los humanos o en cualquier otra especie- va reemplazando al previo. En el caso de la evolución cultural, en relación a las invenciones y descubrimientos uno no reemplaza al otro (en ocasiones sí lo hace, pero no es necesario); son acumulativos. Y por todo esto la evolución cultural es mucho más rápida, mucho más eficiente que la evolución biológica, y es la que va a tener más peso para el futuro de la Humanidad (Fig. 20).

Durante los últimos milenios la humanidad se ha adaptado cambiando el ambiente de acuerdo a las necesidades de sus genes y no cambiando sus genes de acuerdo a las demandas del ambiente:

- Colonización de los continentes
- Conquista del mar, el aire y el espacio astronómico

Fig. 20

Les voy a poner un ejemplo de un cambio biológico que se podría manipular para mostrar lo lento que funciona la evolución biológica. Pensemos en el albinismo, podría hacer lo mismo con la malaria falciforme, pero me parece que el albinismo es algo que todos ustedes conocen. Es fácil que las personas que tienen albinismo mueran antes de llegar a la madurez sexual, sobre todo en condiciones más o menos primitivas, porque exponerse a la luz del sol les resulta muy dañino. El gen del albinismo tiene una frecuencia del 1%. Imaginemos una situación en la humanidad en que tratando de manipular nuestra evolución biológica se cure a todos los albinos en todo el mundo, se les cambie el gen del albinismo a un gen de los que producen color y funcionan. Imaginemos por un momento que esto es posible y que curáramos genéticamente todos los albinos del mundo. Generación, tras generación, tras generación, tras generación. La frecuencia del gen del albinismo es ahora del 1% y se necesitarían 100 generaciones para que llegara a ser el 2%. Ello equivale a 2.500 años. No se trata de un cálculo arbitrario; estoy usando una ecuación que la conocemos muy bien de genética de poblaciones para hacer un cálculo exacto, o sea que con los supuestos que les he dado, de curar a todos los

albinos, la frecuencia del gen cambiaría del 1% al 2% al cabo de 100 generaciones, es decir 2.500 años.

Como ven, la evolución biológica es muy lenta, lo que no quiere decir que no intentemos curar a los que podamos biológica, genética o farmacéuticamente. Evidentemente lo debemos hacer, pero se trata de un proceso lentísimo. La evolución que cuenta ahora para los humanos y la que va a contar durante los próximos siglos, los próximos milenios, va a ser la evolución cultural.

Turno de los contertulios

Camilo José Cela: Francisco, querría volver a la pregunta estricta que te has hecho: ¿Puede el hombre controlar su propia evolución como especie? Yo creo que la respuesta mejor que se puede dar es la que dio Lola Flores cuando le preguntaron si hablaba inglés contestando: “Ni lo permita Dios”.

Tú has planteado en términos científicos si el hombre puede controlar su propia evolución como especie, pero es probable que, de lograrlo, ese paso adelante pasara rápidamente a ser planteado en términos políticos, es decir, que los políticos fueran quienes deciden lo que debe ser controlado y lo que no debe ser controlado. En realidad creo que nos ha ido muchísimo mejor con la selección natural.

Juan José López-Ibor: Yo estaba pensando en otro ejemplo en el que sí es posible, y quizás sea un error mío de concepción y de ignorancia. Creo que hay especies que están en el límite de su línea evolutiva, el delfín es una y la especie humana es otra. Y, creo que el límite de la especie humana es el canal del parto. El niño para nacer tiene que hacer una serie de movimientos: doblar la cabeza, entrar transversalmente, girarse dentro 90° y aparecer. Y que ese límite es imposible de superar, salvo que la especie humana renunciara a la bipedestación, con lo cual desertaría de su característica más antigua. Ese límite evolutivo lo puede solucionar, no la política, o sí, pero la política sanitaria: si la especie humana, tiende cada vez más a que el parto sea por cesárea, llegará un tiempo en que esa limitación biológica deje de existir.

Manuel Martín Loeches: Yo voy a decir otra tontería, la mía si que es una tontería,

Francisco J. Ayala: ¡Que no se convierta en hábito!

Manuel Martín Loeches: Por desgracia en mi caso lo es. Lo que yo quería comentar es que usted ha resaltado mucho la lentitud de la evolución biológica, de la evolución genética, ciertamente, pero también hay ejemplos de que la

evolución genética puede ser bastante rápida, y estoy pensando en el ejemplo de la domesticación de los perros, de la especie *Canis familiaris*, que es distinta de la del lobo -que se supone es la especie original-. En torno a 10.000 años se ha generado una nueva especie con una gran variabilidad, un gran dimorfismo, bueno, polimorfismo, con grandes diferencias en la forma de ser, incluso en el comportamiento, entre unas razas y otras. Es un ejemplo -digamos- de una selección artificial, intencionada. Si ya pasamos a una selección intencionada, artificial, de la especie humana, también pueden conseguirse ejemplos parecidos. Claro que el problema está en lo que decía antes Camilo Cela, “quién decide los cambios”, pero de alguna forma, sí se podría hacer. E incluso en la historia conocemos algunos casos de intentos de eugenesia, de intentos de exterminio de ciertas poblaciones. O sea que algo de rapidez o algo de efecto sí se podría conseguir también -en respuesta a esta pregunta- con esta evolución artificial, con esta presión artificial intencionada. Es una puntualización. Mi tontería era esa.

Fernando Baquero: Para tranquilizar al respetable público, diré que yo jamás digo tonterías, aunque esta aseveración pudiese ser un caso excepcional. Lo que más me interesa en esta discusión es si el concepto de evolución puede ser aplicado a la evolución memética o evolución cultural. ¿Se puede llamar propiamente a esto evolución, aunque no se trate de la evolución biológica?

Si hubiera una catástrofe planetaria y solamente quedarán unos niños que aún no supieran leer, esos niños serían completamente ignorantes, habría desaparecido toda la cultura, no llevarían nada de la cultura impregnado en sus genes. Hemos sido incapaces de embeber, de troquelar nuestra cultura en nuestros genes, sólo podemos legar nuestra cultura en los libros, en los frágiles ordenadores, en los conceptos transmitidos por los antepasados, pero si nada quedase de esos antepasados, esos niños ignorantes, ese nuevo Adán, esa nueva Eva, darían lugar a una progenie completamente ignorante. Así es que el hombre no ha controlado su propia evolución biológica con la cultura; ha perfeccionado, eso sí, sus posibilidades de adaptación al planeta, y quizá a otras remotas partes del universo, pero a eso no sé si le podemos llamar, *sensu stricto*, evolución. Es una especie de supercapacidad adaptativa, pero no necesariamente evolutiva. Y la pregunta por tanto es: ¿Es el hombre necesariamente, el hombre -tal y como lo consideramos hoy en día- la última posibilidad que tiene este árbol de continuar perfeccionando sus capacidades?

Yo estoy de acuerdo, a la manera de la antes citada Lola Flores, en que “no permita Dios que controlemos nuestra propia evolución”. Entre otras cosas, es evidente que para conseguir un

hombre que teóricamente pudiéramos considerar mejor, tendríamos que definir qué es el “hombre mejor”. ¿Mejor para qué circunstancias? Como somos incapaces de determinar la complejidad de los cambios que van a suceder en el planeta, no tenemos ninguna posibilidad de prever la ubicación de una situación mejor, no podemos ver los futuros escenarios, y por lo tanto no podemos de ninguna forma predecir cuáles son los cambios adecuados que tendríamos que realizar. Aun así, aunque lo supiéramos, es tal la complejidad genómica, la cantidad de interacciones epigenéticas entre los genes, que realmente no seríamos capaces de predecir -por lo menos probablemente en los próximos cien mil años de investigación científica- cuál es el *outcome*, el conjunto de consecuencias de las modificaciones que nosotros pudiéramos introducir artificialmente en nuestro genoma. El azar, la imprevisión y el error son probablemente más inteligentes modeladores de la biología que cualquier ingeniería artificiosa. Por supuesto, evolucionaremos, pese a nosotros mismos.

Juan José López-Ibor: Defender la cultura es fundamental, y además, si dicho por de un gran biólogo, más todavía. La protección de la cultura en el sentido que dice Fernando Baquero es muy importante, y tengo un ejemplo muy claro y muy simple: los árabes inventaron los números, inventaron el cero, perdieron su capacidad de escribir los números, y han tenido que reincorporar al árabe una numeración que procede de la India. De alguna manera, esa cultura no fue capaz de conservar un enriquecimiento cultural tan extraordinario. Dejaron de escribir números, se volvieron agráficos y acalcúlicos.

Francisco J. Ayala: Mis amigos de la India dicen que fueron ellos los que descubrieron el cero, evidentemente los árabes lo descubrieron también, y los mayas lo descubrieron independientemente. Curiosamente el cero, que parece una cosa muy obvia, no era obvio cuando se hacían cálculos aritméticos hasta que se dieron estos tres descubrimientos al parecer independientes y no simultáneos.

Al parecer el descubrimiento de la India del cero es el anterior, siendo el cero árabe posterior y el maya más reciente, pero estaban completamente aislados unos de otros.

¿Es la humanidad la especie con mas éxito biológico del mundo? ¿Cómo definimos el éxito biológico? Nuestra especie *Homo sapiens* lleva cien mil años, las bacterias llevan 3.500 millones de años, y siguen siendo más o menos como eran entonces.

Por una medida que es la supervivencia a través del tiempo, las bacterias, esas pequeñas bacterias tienen mucho más éxito biológico que tenemos nosotros. Si hubiera otra vez un asteroide que cayera sobre el Yucatán y que

hubiera la Tierra durante dos o tres años de una capa de polvo densa, como el que llevó a la muerte de los dinosaurios y a todos los animales de tamaño grande, si esto pasara otra vez, no sé si nuestra especie sobreviviría, aún con la tecnología moderna que tenemos. Le debemos a ese asteroide el hecho de existir, como especie, al menos es esa la explicación biológica -uno puede tener explicaciones religiosas a otro nivel- pero, desde el punto de vista científico, ese asteroide mató a todos los animales de cierto tamaño porque no podían sobrevivir en esas condiciones en la Tierra, que eran principalmente los dinosaurios, e hizo posible la supervivencia para unos mamíferos pequeños que existían entonces. Esos mamíferos, nos tienen a nosotros entre sus descendientes; de ahí es de donde vienen la mayor parte de los mamíferos y los perros, los gatos y los tigres..., y los primates y los seres humanos.

Una cuestión muy interesante es como definimos el éxito y como quisiéramos garantizar el éxito en nuestra especie. No es nada fácil saberlo. Y de hecho, ya digo, con arreglo a muchas medidas biológicas no somos la especie que tiene más éxito biológico; otras especies han durado mucho más y son mucho más numerosas.

Por cierto que en relación a la cantidad de especies -si se acuerdan del árbol inicial, ese de la vida que les enseñé-, de todos esos grupos de bacterias con miles y miles y miles de especies, nosotros somos únicamente una especie y, además, una especie muy reciente. Llevamos muy poco tiempo sobre la Tierra, pero la ventaja que tenemos con la cultura es que, a no ser que pase un fenómeno como el del asteroide al cual le debemos la existencia como especie, y aún si pasa, tal vez seríamos capaces de sobrevivir precisamente por medio de la cultura, mientras otras especies no.

Les voy a dar una información curiosa: los seres humanos tenemos menos células humanas que células de otro tipo. El número de células humanas que tenemos es de aproximadamente cien millones de millones. Pero tenemos en nuestro cuerpo más de diez veces más, o tal vez

cien veces más, de células que son bacterias, que nos ayudan a hacer la digestión y otros procesos. O sea que realmente los humanos tampoco somos muy humanos porque somos solo parte del organismo que somos.

Hay cosas muy interesantes, porque ¿cómo han evolucionado estas especies de bacterias y como hemos evolucionado nosotros con ellas? Porque muchas de estas bacterias originariamente eran perjudiciales y después nos hemos acomodado nosotros con ellas y ellas con nosotros.

Y con respecto a ciertos comentarios anteriores y para terminar, una cosa me viene a la mente, un recuerdo que estuve pensando comentar anteriormente y que creo que les interesará: Darwin hizo descripciones de las expresiones humanas y de las expresiones de los animales y Darwin estaba convencido, a pesar de sus observaciones, de que una especie de primate que existiera en cualquier parte del mundo cuya inteligencia avanzara hasta el estado comparable al nuestro llevaría a cabo un desarrollo moral y tendría un comportamiento ético comparable al humano. Lo expresa así en el libro "The Descent of Man", "La Descendencia Humana", o "La Descendencia del Hombre". Lo que Darwin quiere decir con ello es que el comportamiento moral depende de nuestra inteligencia, pero no las normas de moralidad. Porque dice también que un animal, un primate, que llegara a alcanzar nuestro nivel de inteligencia tendría comportamiento moral, pero no se sigue de eso que tuviera las mismas normas morales. Las normas morales pudieran ser completamente diferentes aunque tendría comportamiento moral, que es más o menos lo que les he querido decir 130 años después de que lo dijera Darwin mucho mejor. La moralidad como comportamiento de hacer juicios morales nos viene de nuestra inteligencia, de nuestra biología, pero las normas morales no. Estas son producto de la evolución cultural.

Muchas gracias.

Francisco J. Ayala. Semblanza.

Francisco Ayala nació en Madrid en 1934. Estudió física, filosofía y teología en España, genética y evolución en EE.UU., a donde se trasladó en 1961. A Ayala cabe definirle como el hombre ilustrado de la evolución. Hay algunos otros ejemplos recientes de hombres ilustrados, con una particular presencia de aquellos que proceden de la biología, que ven la ciencia como una forma más de conocimiento humanístico.

Francisco Ayala es una figura mundial en los campos de la genética de poblaciones y evolutiva, habiendo hecho contribuciones significativas a la moderna teoría de la evolución, así como a la filosofía de la ciencia y la ética. Su trabajo profesional incluye tanto la teoría como el experimento, y versa sobre una serie de temas evolutivos relevantes, a saber: tasas y patrones de evolución molecular; el polimorfismo genético y sus causas; la selección natural en la naturaleza y en el laboratorio; la especiación y el origen del aislamiento reproductivo; los factores genéticos y ambientales que modulan el crecimiento de las poblaciones y la interacción de las especies; y el origen y la evolución de la malaria y la genética de poblaciones de protozoos parásitos. Del mismo modo, ha hecho contribuciones significativas a la filosofía de la biología y a cuestiones éticas y sociales derivadas y asociadas a los descubrimientos de la moderna biología.

Durante la segunda mitad de la década de los 60, Ayala publicó una serie de estudios que constituyeron la prueba experimental del teorema fundamental de la selección natural, que relacionaba la tasa de evolución con el grado de polimorfismo genético. Tales trabajos supusieron, además, el desarrollo de métodos originales para medir la adaptación de las poblaciones, la elucidación del papel del polimorfismo genético en la determinación de la adaptación poblacional, así como el establecimiento de las condiciones que permiten la coexistencia de especies cuando los recursos son escasos.

Desde finales de la década de los 60, Ayala contribuye de forma notoria a la comprensión de la evolución del aislamiento reproductivo, así como al proceso de especiación geográfica, gracias a un amplio estudio llevado a cabo con tres grupos de especies, procedentes de Australia y Nueva Guinea, América Tropical y el Indo-Pacífico. Recurriendo a la electroforesis en geles de proteínas y otras técnicas moleculares en cuya aplicación evolutiva ha sido pionero, obtiene medidas cuantitativas del cambio genético que acontece durante los diferentes estadios del proceso de especiación. Los primeros estudios de Ayala relativos a la divergencia genética entre especies se han aplicado con posterioridad a otros muchos tipos de organismos.



Ayala ha contribuido de forma notoria a la controversia sobre la importancia relativa de la selección natural frente al azar en la evolución molecular. Ha liderado un extenso programa -que todavía continúa- encaminado a comprender el significado adaptativo de la variación genética en poblaciones naturales. Así, por ejemplo, ha estudiado de forma sistemática el efecto que factores ambientales como la temperatura o la estabilidad en el suministro de recursos, o biológicos, como la densidad o la frecuencia, tienen sobre la selección natural de variantes genéticas. Ayala ha hecho contribuciones semi-nales a la teoría del reloj molecular de la evolución. Sus estudios experimentales, tanto con proteínas como con DNA, han permitido elucidar la verdadera naturaleza de los patrones de evolución molecular, poniendo en tela de juicio modelos previos en torno a este tipo de evolución.

A mediados de la década de los 80, Ayala inicia una investigación sobre la estructura poblacional y evolución de protozoos parásitos, organismos como los que causan la malaria, la enfermedad del sueño, el Chagas, la leishmania y otras enfermedades que, según la Organización Mundial de la Salud, afectan a más de 500 millones de personas en el planeta y, colectivamente, constituyen, la mayor fuente de mortalidad humana. Las implicaciones potenciales de sus descubrimientos para la salud humana son enormes, ya que la estrategia para el desarrollo de vacunas u otras drogas curativas, así como para la diagnosis y el tratamiento, es radicalmente diferente según que los organismos se reproduzcan de una forma u otra. Esta investigación, que continúa en la actualidad, es muy pertinente para una importante fracción de la humanidad, especialmente la de los más pobres en los países poco desarrollados, pero también, de forma creciente y como consecuencia de las migraciones, en países industrializados donde, por ejemplo, enfermos de SIDA, pueden sucumbir con facilidad a infecciones oportunistas de *Toxoplasma* y otras infecciones protozoarias.

Recientemente, Ayala ha elucidado el origen y evolución del *Plasmodium*, el parásito de la malaria, mostrando que *P. falciparum*, el parásito de la malaria maligna, se ha originado a partir de un solo individuo hace algunas decenas de miles de años, lo que tiene relevancia epidemiológica e interés en salud pública. Por último, en el ámbito

de la ciencia en sí, destacan sus trabajos sobre el origen de determinados phyla animales, patrones de evolución molecular y relaciones evolutivas en *Drosophila* e insectos relacionados.

Pero en el profesor Ayala hay una ciencia reflexionada. Sus ensayos filosóficos han llevado adelante nuevas perspectivas que han generado visiones radicalmente nuevas sobre problemas tradicionales, tales como la noción de teleología, el concepto evolutivo de progreso, o la consideración de la biología como ciencia autónoma. Su monografía ‘Studies in the Philosophy of Biology’, junto con Theodosius Dobzhansky, su maestro, constituye un antes y un después en el campo de la filosofía de la biología. Tiene, por otro lado, una dilatada producción sobre implicaciones éticas y sociales de la ciencia, en general, y de la teoría evolutiva, en particular. Ayala ha tenido una amplia presencia pública en las controversias sobre el ‘creacionismo científico’, como fue su participación como experto en el caso Arkansas en 1981.

Ayala ha publicado 40 libros y más de mil artículos científicos y sobre materias relacionadas. Tomando algunos datos de su extenso currículo, Ayala ha sido presidente de la Sociedad para el Estudio de la Evolución, miembro del Consejo de Gobierno de la Academia de Ciencias de los EE.UU. y coordinador de la sección de Biología del Consejo Nacional de Investigación de los EE.UU. Ha sido también presidente y coordinador de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia y presidente de Sigma Xi, la Sociedad de Investigación de los EE.UU. En 2001 recibió la Medalla Nacional de Ciencia de los EE.UU., de manos del Presidente Bush y en 2010 el Premio Templeton otorgado a “una persona viva que haya hecho contribuciones excepcionales a la afirmación de la dimensión espiritual de la vida”.

Nos queda destacar su compromiso con el desarrollo de la ciencia. Su laboratorio ha sido crisol de investigadores procedentes de nuestro país y otros países hispanoamericanos. La delicada situación científica por la que han pasado buen número de ellos, incluyendo el nuestro en algún momento, ha llevado y lleva a muchos jóvenes con vocación científica en genética y evolución a formarse en su laboratorio. En este, dimos los primeros pasos en áreas tecnológicamente inaccesibles en los países de origen, al tiempo que nos beneficiábamos de los conceptos y las teorías más avanzadas del momento. Consciente de las dificultades que comporta hacer ciencia de calidad en países poco desarrollados, el profesor Ayala siempre ha mostrado su compromiso a través de la aceptación continuada de jóvenes, y no tan jóvenes, investigadores procedentes de países con mucha o alguna flaqueza en una actividad científica sistemática. Muchas universidades y centros de investigación de países como España, Brasil, Chile, Argentina, Venezuela, México, Colombia,

Bolivia, Ecuador, Panamá, etc. cuentan con científicos formados con él, por no hablar del extenso número de los procedentes de Europa y Asia.

Aunque no sea argumento válido, la perspectiva del tiempo nos dice que su decisión de permanecer en los EE.UU. ha tenido mayor impacto en su compromiso de universalizar la ciencia, que si se hubiera trasladado a su país natal. Esa tarea ha quedado en manos de la tercera generación de genéticos y evolucionistas.

Ayala ha recibido muchos honores adicionales, incluyendo la Medalla de Honor de Oro de Mendel, de la Academia de Ciencias de Chequia; el Premio a la Libertad y Responsabilidad Científica de la American Association for the Advancement of Science; el Premio Presidencial del Institute of Biological Sciences; la Medalla UCI, de la Universidad de California; la Medalla del Collège de France; el Premio “Distinguished Scientist of the Year,” de la Asociación Científica Nacional de los Estados Unidos SACNAS; la Medalla “Líder de la Ciencia” en el 150 aniversario de la AAAS; la Medalla de Oro de la Accademia Nazionale dei Lincei (Roma); y el William Procter Prize for Scientific Achievement from Sigma Xi, the U.S. Scientific Research Society. En 2007 la Fundación Cristóbal Gaborrón le otorgó el Premio Internacional de Ciencia e Investigación. En 2009 recibió el Premio COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) a la Difusión de la Ciencia.

Ayala es miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, la Academia Americana de Artes y Ciencias, la Sociedad Filosófica Americana y la Academia de Ciencias de California. Es además miembro honorario de la Real Academia de Ciencias de Madrid, la Academia de Ciencias de Rusia, la Accademia Nazionale dei Lincei de Roma, La Academia Serbia de Artes y Ciencias, la Academia de Ciencias de México, y del Instituto Latinoamericano de Estudios Avanzados. Es Doctor Honoris Causa de Universidades de diez países: Buenos Aires y Nacional de La Plata (Argentina); Universidad de Chile (Santiago); University of Macau (China); Masaryk University [Brno] y University of South Bohemia [České Budějovice] (Czech Republic); Atenas (Grecia); Bologna y Padua (Italia); Varsovia (Polonia); Far East National University (Vladivostok, Russia); Barcelona, Las Islas Baleares, Leon, Madrid, País Vasco, Salamanca, Valencia, y Vigo (Spain); University of California, Irvine y Ohio State University (USA). En 2003, Ayala fue nombrado “University Professor,” el título más alto otorgado por la Universidad de California, siendo el único que posee tal título en la Universidad de California en Irvine.

Andrés Moya

Catedrático de Genética
Instituto Cavanilles de Biodiversidad y
Biología Evolutiva. Universidad de Valencia

La estructuración de las comunidades ecológicas por selección natural: una lección para la ecología de Wallace y Darwin

Juan Moreno

Depto. Ecología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid. E-mail: jmoreno@mncn.csic.es

eVOLUCIÓN 7(2): 33-38 (2012).

Estamos tan acostumbrados a relacionar a la selección natural con procesos evolutivos en el seno de poblaciones de organismos, que apenas paramos a pensar en otras consecuencias de las diferencias individuales en probabilidades de supervivencia y reproducción, es decir en eficacia biológica o “fitness” en inglés, que existen en todas las poblaciones naturales. Una de ellas es la composición de comunidades de organismos distintos que comparten un determinado hábitat. La ecología de comunidades ha sido tradicionalmente abordada desde un enfoque claramente taxonómico, intentando explicar las diferentes abundancias relativas de distintas especies que coexisten en diversos lugares. El ejemplo más claro son los estudios de la vegetación, su variación geográfica y sus cambios temporales, incluida la famosa sucesión. Los organismos coexistentes han sido considerados exclusivamente como miembros de una determinada especie, y los rasgos de estos individuos incluidos en los de la especie correspondiente. Distintas tradiciones dentro de la ecología han abordado el estudio de las comunidades como el de interacciones entre especies. Así la tradición basada en los nichos ecológicos, iniciada por Gause, Hutchinson y resumida por MacArthur (1972), ha intentado explorar las implicaciones de la coexistencia de organismos con nichos de especie más o menos similares. La competencia interespecífica basada en similitud de nichos ha sido valorada como una de los principales factores explicativos de la composición de comunidades por esta venerable tradición que tiene su origen, como no, en Darwin mismo. Otra tradición, iniciada por las críticas a los modelos de nichos de Simberloff y llevada a su apogeo por Bell y especialmente por Hubbell (2001), es la que postula que las comunidades son agregados al azar o ‘neutrales’ de especies provenientes de un “pool” disponible de especies y mezclados por contingentes procesos de dispersión.

La tradición neutralista empezó postulándose como un modelo nulo alternativo que permite comprobar el valor explicativo de las hipótesis sobre nichos y filtrado ambiental, para acabar proponiéndose como una verdadera explicación de la composición de las comunidades ecológicas que observamos. Es básicamente el mismo

método utilizado por los proponentes del neutralismo molecular o de la complejidad auto-organizada en evolución. Se empieza con falsa modestia postulando alternativas nulas que faciliten poner a prueba la importancia de la selección, y antes o después se termina por tirar a la selección por la borda una vez la máscara del modelo nulo no se cree necesaria. Ni el neutralismo molecular de Kimura explica como los organismos evolucionan, ni los modelos de Kauffman pueden prescindir de la confrontación de una inevitable diversidad de complejos auto-organizados con un medio hostil que favorece, valga la redundancia, a los complejos mejor auto-organizados para sobrevivir y reproducirse (Rosenberg 2011). Igual que Kimura y Kauffman pretendieron prescindir de la genética molecular y de la fisiología bioquímica, Hubbell y sus seguidores pretenden saltarse a la torera no solo la teoría de nichos, sino toda la fisiología y la ecología funcional. Sustituir todo el conocimiento actual sobre los requerimientos de los organismos para existir por unos modelos que predicen ciertos patrones de abundancia relativa de especies es una pretensión audaz, por no decir temeraria. Es como sustituir Wikipedia por un modelito matemático sobre las reglas del progreso del conocimiento.

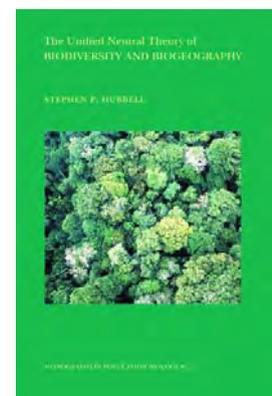


Fig. 1. La ecología neutralista promovida por S. Hubbell (2001) predice la composición de las comunidades tan bien o tan mal como modelos de nichos o basados en mecánica estadística pero se basa en supuestos simplistas que desprecian todo el conocimiento ecológico acumulado durante siglos. Su popularidad se basa en que propone esquivar a la competencia, a la limitación de recursos y en definitiva a la siempre impopular selección natural.

Pero Hubbell no cumple además con una regla básica de la inferencia lógica en ciencia que nos dice que la confirmación de las predicciones no garantiza que se satisfagan los supuestos del modelo. Los modelos científicos explicativos, y no meramente predictivos, se confirman si las predicciones se cumplen y la veracidad de los supuestos se comprueba empíricamente (Shipley 2000). Los modelos neutrales de comunidades presuponen que todos los individuos de todas las especies que conforman una comunidad tienen exactamente la misma probabilidad de sobrevivir y reproducirse, es decir la misma eficacia biológica. Basándose en este y otros supuestos más o menos irreales, se predicen determinados patrones de abundancia relativa de especies. Estos patrones se confirman en algunos casos, *ergo* según Hubbell (2001) se comprueba que el modelo y sus extraños supuestos han sido verificados. Pero nadie ha demostrado que los mismos patrones no puedan ser predichos por otros modelos, como de hecho lo son (McGill et al. 2006). Más preocupantemente aún, la inferencia lógica permite ir de supuestos a predicciones pero no al revés. Es decir, que los modelos pronostiquen ciertos patrones de composición, no confirma para nada los supuestos del modelo, que deben ser comprobados independientemente de las predicciones. ¿Existe alguna confirmación empírica de que todos y cada uno de los individuos que conforman una comunidad ecológica en alguna parte del mundo poseen exactamente la misma probabilidad de sobrevivir y reproducirse exitosamente? Ni existe ni probablemente se podrá jamás comprobar una situación tan alejada de la realidad. Hubbell (2001) desde luego no ha confirmado este supuesto en sus estudios. Para ello hay que determinar la longevidad y el éxito reproductor de las plantas individuales a lo largo de generaciones. Los árboles tropicales, que pueden parecer tan similares a los observadores neutralistas, esconden seguramente tanta disparidad funcional como cualquier otra agrupación de organismos. Lo que para un neutralista es una parcela homogénea esconde seguramente muchísima heterogeneidad ambiental. Muchos modelos sobre complejidad auto-organizada adolecen del mismo problema. Que puedan predecir patrones observables en la naturaleza no quiere decir que expliquen dichos patrones. Para explicar hay que verificar empíricamente todos los supuestos de los ‘elegantísimos’ modelos. ¿A qué se debe entonces la popularidad, probablemente transitoria, de los modelos neutrales en ecología? Se debe a la misma razón que la efímera popularidad de los modelos de Kimura y probablemente de Kauffman, es decir a que prescinden de la selección natural y de sus productos evolutivos. La mente humana rechaza instintivamente la idea de la selección, por qué, como señala agudamente Rosenberg (2011), la propia selección natural ha favorecido en nuestras mentes la búsqueda

permanente de relatos y mitos que identifiquen objetivos y protagonistas en el mundo que nos rodea. Mejor un modelo que no explica nada como los de Kimura o Hubbell, o que se basa en una complejidad espontánea siempre creciente como el de Kauffman, a un modelo explicativo que no deja ni rastro de finalidad en el mundo.

Pero volvamos a las comunidades. Los organismos individuales que las conforman poseen rasgos derivados de su interacción con el entorno. Por ejemplo, pueden poseer una mayor o menor tolerancia a la sequía o a los extremos térmicos, una mayor o menor tolerancia a la proximidad de otros organismos, una mayor o menor capacidad defensiva frente a organismos patógenos o predadores, etc. Si nos olvidamos por un momento de las especies a las que pertenecen, algo difícil para todo buen ‘esencialista’, podemos considerar a las comunidades desde el punto de vista de los rasgos ecológicos de los organismos que las componen. Estos rasgos determinan distintas probabilidades de supervivencia y reproducción en el hábitat, es decir distintas eficacias biológicas. Si suponemos que existe una continua lluvia de propágulos dispersantes sobre cualquier comunidad, podemos esperar que los más exitosos en establecerse sean con mayor probabilidad aquellos cuyos rasgos les garanticen una mayor eficacia biológica en el entorno formado por la comunidad previamente establecida. Si la comunidad es pobre por que se está recuperando de un proceso de degradación previo, las condiciones serán menos restrictivas y el filtrado según rasgos menos riguroso. Si la comunidad es más rica, el filtrado será más estricto y distinto al ejercido en condiciones más pobres. Ello determina la sucesión ecológica, ya que los rasgos que garantizan mayor eficacia irán variando con el tiempo.



Fig. 2. Cuando estudiamos la comunidad de plantas establecidas en cualquier campo podemos contemplar a los individuos físicos o genéticos como portadores de rasgos que les permiten sobrevivir y reproducirse en ese campo o simplemente como pertenecientes a un taxón. Son los rasgos de los individuos los que determinan la composición taxonómica del conjunto y no al revés como nuestras tendencias esencialistas podríamos hacernos creer. En ocasiones viene bien quitarse las gafas taxonómicas en ecología.

Pongamos un ejemplo sencillo para que se entienda el argumento sobre filtrados ambientales. La vegetación que cubre las empinadas laderas de la falla del Niágara es muy característica y predecible a muchas escalas espaciales, estando dominada por la tuya occidental. Booth y Larson (1999) realizaron una serie de experimentos para determinar como el ambiente de los farallones filtra a todas las especies de árboles de los bosques por debajo y encima de la falla y deja solo a las tuyas. Situaron transectos con trampas de semillas a lo largo del desnivel para determinar el pool de especies disponibles, tomaron muestras del banco de semillas en el suelo y luego plantaron plántones de siete especies de árboles del pool disponible a lo largo de los mismos transectos. Las semillas de tuya no eran ni mucho menos las más frecuentes en alcanzar las laderas, estando la lluvia de semillas dominada por especies con producción abundante de semillas dispersadas por el viento desde ambientes circundantes. El banco de semillas reflejaba la abundancia relativa de especies en dicha lluvia. Los plántones de todas las especies sobrevivían los dos primeros años del estudio, pero al tercero casi todos habían perecido excepto los de tuya. Las diferencias en supervivencia se debían a la diferente inversión del plánton en raíces respecto a tallos, sobreviviendo mejor aquellos que invertían menos en raíces y más en tallos, como los de tuya. Los suelos secos, someros y pobres en nutrientes estaban filtrando a los plántones y dejando solo a las tuyas, un proceso claramente determinista. Estos filtrados deterministas del resultado de la dispersión estocástica de propágulos ocurren en todo lugar y momento en las comunidades que nos rodean. No se trata de colisiones entre idénticas bolas de billar o interacciones entre nodos en un ‘elegante’ modelo de ordenador sino de procesos deterministas de filtrado ecológico operando sobre propágulos dispersantes provenientes de las comunidades circundantes.

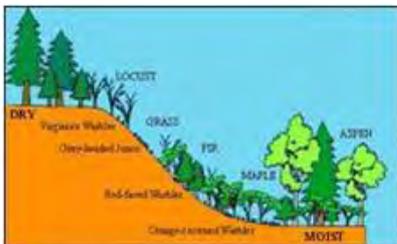


Fig. 3. Los textos de ecología siempre nos presentan la distribución de especies en las comunidades vegetales en función de ciertas propiedades ambientales. Ello no es un error como aseguran los neutralistas sino el resultado del filtrado por las propiedades del ambiente de los propágulos capaces de crecer y sobrevivir en el mismo. No se deben tirar por la borda los conocimientos ecológicos que tanto ha costado obtener.

El filtrado ecológico según rasgos no es un proceso evolutivo sino un proceso que ocurre en tiempo real basado en interacciones con el medio de individuos con distintos rasgos. Shipley (2010) ha argumentado convincentemente que este filtrado ambiental de propágulos dispersantes que determina la composición de las comunidades ecológicas es también selección natural. Así el propio Wallace escribió en su parte del manuscrito común con Darwin publicado en 1858 que “la vida de los animales salvajes es una lucha por la existencia. Requieren el empleo completo de todas sus facultades y de todas sus energías para preservar su propia existencia y proveer para la de su descendencia. La posibilidad de procurarse alimento durante las épocas menos favorables y de escapar de los ataques de sus enemigos más peligrosos, son las condiciones primarias que determinan la existencia tanto de los individuos como de especies enteras. Estas condiciones también determinarán la población de cada especie; y, considerando cuidadosamente todas las circunstancias, podremos comprender y, de algún modo explicar, lo que a primera vista parece tan inexplicable – la excesiva abundancia de algunas especies, mientras otras estrechamente relacionadas son muy escasas.” Wallace, aunque tratando solo a animales, consideraba que la clave de la abundancia o rareza de especies en las comunidades se basaba en sus rasgos ecológicos, es decir los que determinan la interacción de los organismos con el medio. Si las diferencias en “fitness” en el transcurso de las generaciones explican la evolución de rasgos en las poblaciones, el punto crucial abordado por Darwin y Wallace a partir de 1858, no es menos cierto que en el seno de comunidades ecológicas estas mismas diferencias explican la distribución de rasgos en cada momento y, por tanto, dada la asociación más o menos directa de rasgos con especies, la propia composición de especies de las comunidades. A lo largo del tiempo, estos procesos de filtrado llevan a la sucesión temporal de comunidades que tanto ha dado que hablar en ecología. Darwin (1859) ya conocía el filtrado ecológico de las comunidades cuando comentó que “los plántones también son destruidos en gran número por diversos enemigos; por ejemplo, sobre una parcela de terreno de tres pies por dos, cavado y limpiado, y dónde no podía una planta sofocar a otra, marqué a todos los plántones de nuestras hierbas nativas desde que emergieron, y, de 357, no menos de 295 fueron destruidos, principalmente por babosas e insectos. Si se dejara crecer el pasto que ha sido normalmente segado, y el caso sería el mismo con pasto pastado corto por cuadrúpedos, las plantas más vigorosas matarían gradualmente a las plantas menos vigorosas, aunque ya crecidas: así de veinte especies que crecían sobre una pequeña parcela (tres pies por cuatro) nueve especies perecieron debido al crecimiento libre de las demás.”

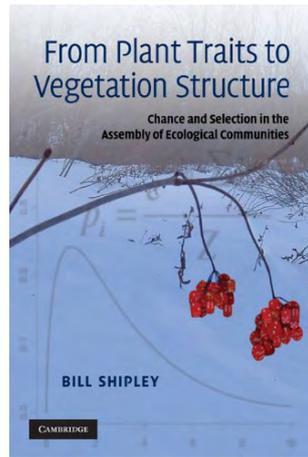


Fig. 3. Bill Shipley plantea en su libro la posibilidad de predecir la composición de comunidades vegetales en función de modelos de máxima entropía en que una lluvia de propágulos extraídos al azar de un pool de especies existentes en las proximidades es filtrada por las interacciones entre los propágulos y las propiedades del ambiente. Los datos de la dispersión están cargados según su modelo por los rasgos de los individuos que acceden a un lugar. La composición de comunidades procede de la selección natural por el ambiente de individuos de distintas especies según sus rasgos ecológicos.

Shipley (2010), en su magistral tratamiento de esta versión de la teoría de Darwin-Wallace, deja claro que el filtrado ecológico de dispersantes explica la distribución de rasgos de individuos en las comunidades, no estrictamente su composición taxonómica. Como escribe “las combinaciones de rasgos en un determinado contexto ambiental determinan las probabilidades de dispersión, supervivencia y reproducción de individuos de diferentes especies. Sin embargo, ya que el mismo rasgo puede poseer diferentes valores selectivos con respecto a diferentes variables ambientales, que estos rasgos están correlacionados entre sí debido a compromisos entre ellos, y debido a que las propias variables ambientales estarán también relacionadas entre sí con diferente intensidad, ello significa que diferentes combinaciones de rasgos pueden determinar probabilidades similares de dispersión, supervivencia y reproducción. Qué individuos de qué especies llegan a un lugar y en qué orden temporal viene en parte determinado por sucesos impredecibles. Así, las trayectorias de desarrollo de las comunidades pueden diferir incluso si las condiciones ambientales y el pool de especies son los mismos. Sin embargo, las trayectorias de valores medios de rasgos, estando bajo el control de la selección natural, mostrarán cambios temporales predecibles. Las trayectorias de abundancias de especies podrían mostrar contingencia histórica, aunque estas contingencias estarán constreñidas por la distribución de valores medios de rasgos.” Las comunidades según rasgos son pues más predecibles que las comunidades según especies. Fukami y colaboradores (2005) han comprobado la veracidad de

esta predicción del modelo de Shipley. Sembraron vegetación en 15 parcelas de 10 x 10 m divididas en tres bloques de cinco parcelas cada uno. Una parcela de cada bloque fue sembrada con una mezcla muy diversa de semillas de hierbas, tres con tres distintas mezclas poco diversas, mientras la quinta parcela fue dejada a la colonización natural. Se dejó a la vegetación de estas parcelas desarrollarse a lo largo de nueve años, permitiendo la colonización por otras plantas. Las especies fueron clasificadas en grupos según rasgos funcionales. Se siguió la composición taxonómica de cada parcela así como la composición de grupos funcionales cada año. La composición taxonómica se mantuvo igual de disimilar entre parcelas a lo largo de los nueve años, mientras la composición de grupos funcionales, que empezó siendo muy diferente, convergió significativamente durante el mismo período. Ello significa que los cambios en composición taxonómica ocurrieron crecientemente dentro de los mismos grupos funcionales. El carácter predecible de la sucesión ecológica que dio lugar a las especulaciones de Clements (1916) sobre las comunidades vegetales como superorganismos nos podía haber hecho sospechar que no hay nada de azar en la distribución de rasgos ecológicos o funcionales en las comunidades naturales. La asociación de rasgos funcionales de especies a lo largo de gradientes ambientales es también un dato empírico que sustenta a la ecología funcional de plantas (Grime 2001). Como señala Shipley, los modelos neutrales de Hubbell son totalmente incapaces de predecir la aplastante evidencia sobre asociación entre rasgos y condiciones ambientales, lo que nos dice algo sobre su relevancia biológica. Shipley (2010) ha elaborado modelos basados en mecánica estadística tan elegantes como los neutrales para predecir la composición de comunidades vegetales en base a los valores de sus rasgos funcionales. A diferencia de Hubbell, Shipley tiene en cuenta los datos conocidos sobre la fisiología y ecología vegetal. La naturaleza juega en estos modelos con datos cargados por la selección natural. La probabilidad neutral de establecerse se ve constreñida por los rasgos funcionales para dar la probabilidad diferencial de establecerse, que afecta al hecho de establecerse exitosamente o no, que a su vez determina la dinámica de la población de los individuos de la misma especie, que resulta finalmente en la estructura de la comunidad o vegetación de una zona determinada. Los rasgos tiran de las especies en el modelo de Shipley. Si toda la variación de rasgos es entre especies (todos los individuos de la misma especie tienen idéntico valor del rasgo) no puede haber evolución en las poblaciones, pero seguiría habiendo cambios en la abundancia relativa de especies en la comunidad por la operación de datos cargados. Si toda la variación es dentro de especies (el valor

medio es idéntico para todas las especies) puede haber evolución por selección natural pero no cambios en la estructura de comunidades. Evidentemente, la variación ocurre tanto entre como dentro de especies, por lo que la evolución en cada población se compagina con cambios en la composición de las comunidades que engloban a dichas poblaciones. Shipley (2010) ha comprobado la validez de su modelo de procesos de selección en base a rasgos funcionales en una sucesión de la vegetación en viñedos abandonados del sur de Francia y ha comprobado como dichos rasgos se han modificado a lo largo de 40 años hasta estabilizarse en diferentes momentos. Las predicciones de su modelo se aproximan mucho a los cambios medidos.

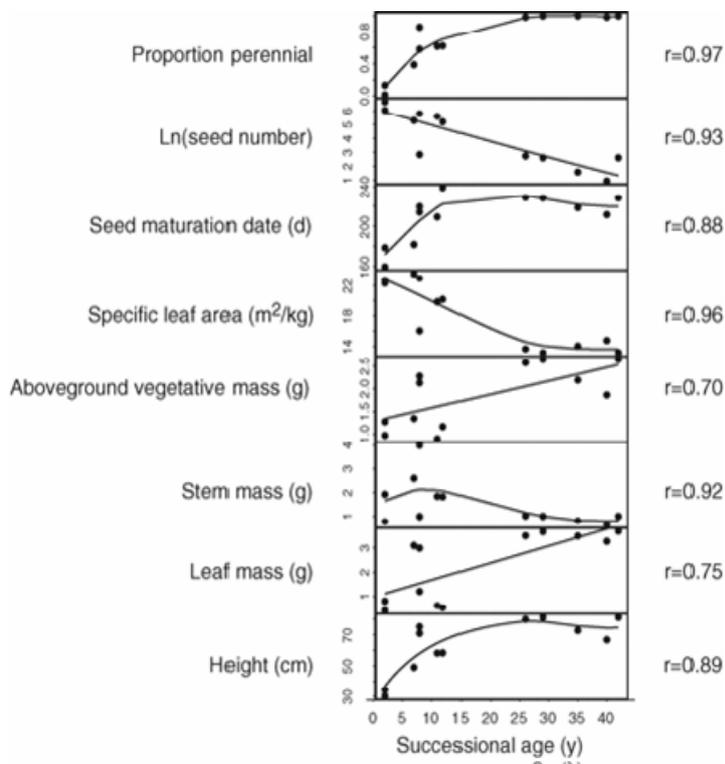


Fig. 4. La sucesión no se asemeja al envejecimiento de un organismo sino expresa el cambio en los caracteres favorecidos por el ambiente a lo largo del tiempo, cambio que se debe a la selección de individuos de distintas especies según sus rasgos en cada momento. El establecimiento de individuos con ciertas propiedades modifica ligeramente las condiciones lo que termina por alterar el entorno selectivo de futuros miembros de la comunidad. Shipley ha estudiado los cambios en los rasgos fisiológicos y morfológicos de las plantas establecidas en un viñedo abandonado a lo largo de medio siglo y ha relacionado con éxito dichos cambios con sus modelos sobre dados cargados.

En este contexto, hay que mencionar también el debate sobre el significado de los patrones de abundancia de especies en las comunidades. Muchos observadores se han sorprendido ante la cantidad de comunidades estudiadas cuyo patrón de abundancia de especies (unas pocas especies abundantes y numerosas especies escasas) se aproxima a la distribución log-normal (McGill et

al. 2007). Curiosamente, los modelos neutrales, incluyendo ciertos supuestos más o menos absurdos, también resultan en distribuciones log-normales. Pero como han señalado Nekola y Brown (2007), las distribuciones de abundancia de especies son un ejemplo de un patrón general de distribuciones de abundancia que incluyen la distribución de clases de precipitación en Norteamérica, de volúmenes de transacciones en bolsa de las corporaciones americanas, de los éxitos discográficos de música country, de las frecuencias de citas de artículos científicos, del tamaño de gotas de aceite en la mayonesa, etc., etc. Es decir los procesos ecológicos no son la clave de las distribuciones de abundancia, sino que debe existir algo mucho más general que afecta a problemas estudiados en economía, química, astronomía y teoría de la información, además de en biología. Shipley (2010) ha mostrado como cualquier sistema dinámico en que la tasa de cambio de una variable en cada momento es proporcional a la cantidad de dicha variable existente en el mismo momento, presenta una media geométrica de sus elementos constreñida, lo que implica una distribución log-normal. Da lo mismo si el sistema consiste en inversores cuyas ganancias o pérdidas son proporcionales a la cantidad de dinero que han invertido o de especies cuyas poblaciones crecen a una tasa proporcional al tamaño poblacional, la distribución siempre mostrará un patrón similar. ¿Quiere ello decir que hemos explicado algo presentando una simple distribución log-normal de abundancias de especies?

Hubbell (2001) parece creerlo al enfatizar que las distribuciones obtenidas por sus modelos neutrales se ajustan al patrón general, *ergo* sus modelos explican cómo se forman dichos patrones. Sin embargo, Shipley (2010) demuestra que sus modelos de mecánica estadística, incluyendo supuestos no neutrales como el filtrado funcional de rasgos, también resultan en patrones log-normales de distribución de abundancias, de hecho en distribuciones indistinguibles en muchas simulaciones de las que producen los modelos neutrales de Hubbell, que están basados en supuestos que contradicen a toda la fisiología y ecología funcional de plantas. Si modelos con supuestos tan distintos llevan a la misma distribución, estas distribuciones ubicuas carecen de interés para explicar la ecología de comunidades. Son el producto de relaciones inevitables entre velocidades de cambio y cantidades iniciales, es decir el resultado de procesos de retroalimentación que se dan en muchísimos ámbitos de la realidad. En ecología de poblaciones, la retroalimentación se ha llamado denso-dependencia, sin que por ello nadie se haya sorprendido por su ubicuidad. La retroalimentación negativa es el producto de la competencia y la positiva el resultado de interacciones positivas entre miembros de una población. Es la importancia de

ambos tipos de procesos la que se dirime en cada población. La sorpresa de tanto experto ante la ubicuidad de ciertos patrones de abundancia es pues el producto de su fascinación por el mero formalismo matemático, no de su poder explicativo.

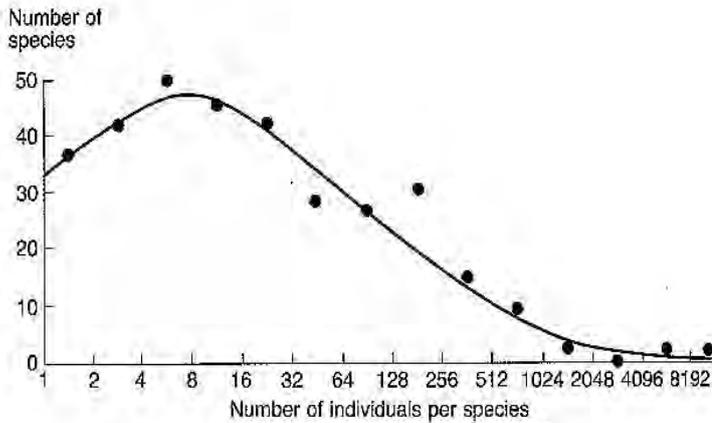


Fig. 5. Establecer patrones de distribución en la naturaleza no es explicar nada si no se conoce el mecanismo que produce el patrón. La fascinación por la ubicua distribución log-normal no ha derivado en una mejor comprensión de los patrones de abundancia de organismos de distintos taxones en las comunidades ecológicas.

En conclusión, predecir algún patrón general no es explicar su existencia en relación a un proceso determinado. Tampoco sirve de mucho elaborar modelos neutrales prescindiendo de conocimientos bien establecidos y defender que la ecología es neutral cuando otros modelos basados en dichos conocimientos predicen los mismos patrones. Por último, la fascinación de ciertos ecólogos matemáticos por simples patrones de abundancia se parece más al asombro que tradicionalmente se ha mostrado ante manifestaciones astrológicas que a la actitud de un científico que intenta explicar algún fenómeno natural. Menos magia matemática neutral y más experimentos ecológicos de campo.

REFERENCIAS

Booth, B.D. y Larson, D.W. 1999. Impact of language, history, and choice of system on the study of assembly rules. Pp. 206-229 *En: Weiher, E. y Keddy, P. (eds.). Ecological Assembly Rules. Perspectives, Advances, Retreats.* Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Clements, F.E. 1916. *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation.* Carnegie Institution, Washington.

Darwin, C.R. 1859. *On the Origin of Species*, 1st Ed. John Murray, Londres.

Darwin, C.R. y Wallace, A.R. 1858. On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection. *Proc. Linn. Soc. Lond., Zool.* 3: 45-62.

Fukami, T., Bezemer, T.M., Mortimer, S.R. y van der Putten, W.H. 2005. Species divergence and trait convergence in experimental plant community assembly. *Ecol. Lett.* 8: 1283-1290.

Grime, J.P. 2001. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties.* John Wiley & Sons, Nueva York.

Hubbell, S.P. 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography.* Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.

MacArthur, R.H. *Geographical Ecology. Patterns in the Distribution of Species.* Harper & Row, Nueva York.

McGill, B.J., Maurer, B.A. y Weiser, M.D. 2006. Empirical evaluation of neutral theory. *Ecology* 87: 1411-1423.

McGill, B.J., Etienne, R.S. y Gray, J.S. 2007. Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework. *Ecol. Lett.* 10: 995-1015.

Nekola, J.C. y Brown, J.H. 2007. The wealth of species: ecological communities, complex systems and the legacy of Frank Preston. *Ecol. Lett.* 10: 188-196.

Rosenberg, A. 2011. *The Atheist's Guide to Reality. Enjoying Life without Illusions.* Norton, Nueva York.

Shipley, B. 2010. *From Plant Traits to Vegetation Structure. Chance and Selection in the Assembly of Ecological Communities.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

Información del Autor

Juan Moreno Klemming se doctoró en ecología animal por la Universidad de Uppsala (Suecia) y actualmente es profesor de investigación del CSIC en el Departamento de Ecología Evolutiva del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Desde 1980 ha estudiado diversos aspectos de la ecología evolutiva y eco-fisiología de aves en Suecia, España, Antártida y Patagonia, especialmente en relación con la reproducción. Ha publicado más de 170 trabajos científicos en revistas internacionales sobre estos temas, además de varios artículos divulgativos, capítulos de libro, y un libro.

Sistemas de parentesco y familia humana: Una revisión biocultural desde la antropología evolucionista

Rafael Tomás Cardoso

Antropólogo. Investigador Autónomo. Madrid (España). E-mail: rafa_tomas@wanadoo.es

RESUMEN

Los enfoques dominantes en las Ciencias Sociales, y en la Antropología Social y Cultural en general, sostienen desde un modelo culturalista, la excepcionalidad humana de su comportamiento sexual y de emparejamiento, a partir de los datos de una variabilidad prácticamente ilimitada de sus sistemas de familia y relaciones de parentesco, asociada a su condición cultural y a una asumida liberación de las ataduras biológicas y ecológico-evolutivas. Una revisión más detallada de los distintos sistemas de familia y parentesco en las poblaciones humanas nos muestran como bajo su diversidad cultural subyace, de modo claro y reiterado, un necesario ajuste de estos diversos sistemas a los condicionamientos ecológicos y evolutivos, donde es preciso compatibilizar las adaptaciones sociales colectivas con las exigencias ecológicas y evolutivas de una adaptación de los individuos a sus contextos particulares, con el fin de garantizar sus condiciones de supervivencia y maximizar su eficacia biológica inclusiva, a través de la reproducción directa y la de sus parientes más cercanos. *eVOLUCIÓN* 7(2): 39-54 (2012).

Palabras Clave: Antropología Evolucionista, Psicología Evolucionista, Ecología Evolutiva del Comportamiento Humano, Sistema de Parentesco Humano.

ABSTRACT

The main perspective in the Social Sciences, and in the Social and Cultural Anthropology in general, is based in a “culturalist model” and over the idea of the exceptional of the human sexual behavior and breeding, on the data of a unlimited variability of family and kinship systems, associated to their condition of being cultural liberated from the biological and ecological-evolutionary restrictions. A detailed revision of the different family and kinship systems in the human populations show us like this diversity must have a necessary adjustment to the ecological and evolutionary influences, where is necessary coordinate the collective social adaptations with the ecological and evolutionary demands of an individual adaptation to their particular contexts, in order to guarantee their survival and maximize their biological and inclusive fitness. *eVOLUCIÓN* 7(2): 39-54 (2012).

Key Words: Evolutionary Anthropology, Evolutionary Psychology, Human Kinship Systems, Human Evolutionary Ecology.

INTRODUCCION

Continúan siendo frecuentes los argumentos respecto a los intentos de comparación entre el comportamiento reproductivo y social en primates no humanos y humanos, que insisten en la tesis de la “excepcionalidad humana”, y el argumento de cómo la condición cultural humana le ha liberado de la biología, permitiendo un abanico en el comportamiento social y sexual prácticamente ilimitado (Sahlins 1982). Aludiendo a esta negación de cualquier significado biológico en las relaciones familiares y la reproducción en los humanos, el antropólogo de orientación evolucionista N. Chagnon (2006) respondía a la idea de que “en el hombre el parentesco no tiene nada que ver con la biología”, con la pregunta: ¿Qué contestaría usted, si cuando tenga un hijo y vaya al nido de la

maternidad a preguntar por cual es el suyo, la enfermera le respondiera “da igual, coja usted el que quiera”?.

Lévi-Strauss (1969) escribió “Las estructuras elementales del parentesco” para referirse a aquellos elementos que consideraba comunes a los distintos sistemas de parentesco, que para él no eran otros que las reglas sociales de exogamia (evitación del incesto) y de matrimonio preferencial (entre grupos) como base para la consolidación de las alianzas entre los distintos grupos sociales. Yo quiero referirme a otros elementos estructurales, que en mi opinión comparten todos los sistemas de parentesco y familia humana, tales como la unidad biológica básica madre-hijo, sobre la que pivotan el resto de configuraciones familiares, y la conformación de todos los diversos sistemas de familia de modo que sean compatibles con los objetivos de las

distintas estrategias reproductivas de ambos sexos, y con la búsqueda de la eficacia biológica e inclusiva a nivel individual.

De acuerdo con estas estructuras implícitas en la totalidad de sistemas familiares y de parentesco, cabe esperar formas de organización social ajustadas a lo previsible de acuerdo con la teoría de Hamilton (1964) sobre la “Selección de Parentesco” o “Selección Familiar” (según la cual, los grupos familiares actuarán como unidades de selección, a través de la cooperación y el altruismo entre los miembros de la unidad para promover la difusión de los genes del grupo de parientes y la maximización de la eficacia inclusiva de los miembros del grupo de parentesco, a través de su reproducción directa o de la de sus parientes directos), y las teorías de Trivers (1971) sobre el altruismo recíproco (referidas a la explicación en unidades sociales mayores a las limitadas a los vínculos familiares biológicos de los procesos de altruismo y cooperación social, a través de los compromisos a largo plazo y las alianzas como fórmulas de prestación/devolución de prestaciones entre individuos no necesariamente emparentados).



Fig. 1. La unidad formada por la madre y sus hijos constituye el núcleo sobre el que se articulan el resto de formas familiares.

Las teorías socioculturales del parentesco y la familia.

Con el desarrollo de las Ciencias Sociales a finales del siglo XIX, la familia y el parentesco ocuparon una posición central en sus principales disciplinas emergentes. Dentro de la Sociología, las concepciones de la familia como “célula social” o como “germen de la Sociedad” representaban la creación de conceptos nuevos desde la analogía organicista, recurso fuertemente presente en las nacientes Ciencias Sociales decimonónicas que siguiendo el modelo de las Ciencias Naturales buscaban lograr la solidez lograda por éstas a lo largo del siglo XIX. La

Antropología Social (y especialmente, la Escuela Británica) dedicó a los “Sistemas de Parentesco” un lugar central dentro de su objeto de estudio, considerando el parentesco como el eje de la organización social, política y productiva en las sociedades primitivas y tradicionales (Radcliffe-Brown, 1982). El antropólogo cultural Murdock (1949) destacó cuatro funciones fundamentales de la familia como elemento organizador de las estructuras sociales: 1) La regulación social de las relaciones sexuales, 2) como marco de la procreación, 3) contexto primario para la socialización y crianza de los niños, y 4) núcleo básico de cooperación y producción económica.

La Sociología en su desarrollo tipológico y clasificatorio ha venido identificando distintos tipos de sociedad y dentro de éstas, de sus instituciones sociales básicas. Con tal objeto clasificatorio desarrolló categorías para explicar la diversidad en la familia humana, tales como los de familia nuclear, familia extensa, familia ensamblada, familia monoparental, etc. Por su parte, en la Antropología Social además de los diferentes sistemas clasificatorios basados en las nomenclaturas del parentesco, surgieron dos enfoques fundamentales para el estudio del parentesco como eje de la organización social y de las relaciones sociales (Dumont 1975; Segalen 1993): la “Teoría de la Alianza” (en el seno de la Escuela Francesa) y la “Teoría de la Descendencia” (dentro de la Escuela anglosajona). Para la “Teoría de la Descendencia” la base de las estructuras del parentesco son las relaciones de filiación, que constituirán el elemento central de la Escuela Estructural-funcionalista británica (Radcliffe-Brown, Evans-Pritchard, Fortes) y francesa (Durkheim). Donde los lazos de afinidad estarían asociados a la identificación grupal basada en las creencias de certeza en las relaciones de filiación (bien sea en los sistemas patrilineales por vía del varón, o en los sistemas matrilineales por vía materna), dentro de un modelo que cabe interpretar como bastante coherente con lo que cabría esperar desde una perspectiva centrada en las exigencias evolutivas (eficacia biológica) para los sistemas analizados.



Fig. 2. La familia ha constituido un tópico central en el desarrollo de las modernas Ciencias Sociales, cargado de fuertes sesgos morales e ideológicos.

Del otro lado, según la “Teoría de la Alianza” el parentesco es importante en la medida que define códigos para la reproducción de los lazos sociales. Y aunque los teóricos de la “teoría de alianza” (como los de la “teoría de la filiación”) sostienen que los sistemas de parentesco no son el resultado de las relaciones biológicas entre los sujetos sino de representaciones sociales de las relaciones entre los miembros de grupos familiares. Sin embargo, el énfasis de los teóricos de la “teoría de la alianza” (Lévi-Strauss, Hérítier) en aspectos que consideraban universales y comunes a los sistemas de parentesco, como el tabú de incesto, las reglas de exogamia y la importancia del intercambio de mujeres entre grupos, comunes a todos los sistemas de parentesco (aunque variables según las diferentes estructuras), nos muestra de nuevo la presencia implícita y relevancia de elementos biológicos estructurales en la base de los diversos sistemas culturales analizados. Aunque la mayoría de los antropólogos estudiosos del parentesco insisten en que tales sistemas operan sobre lógicas culturales sin relación directa con los aspectos biológicos, la presencia recurrente de las metáforas de la sangre y el énfasis en el control y vigilancia de las mujeres en los sistemas patrilineales estudiados por los “teóricos de la descendencia”, y el énfasis en los sistemas de reciprocidad y preocupación por la práctica exogámica (como evitación de las distintas modalidades definidas de incesto y de consanguinidad intragrupal) nos remiten de una forma evidente a tópicos ampliamente estudiados por la Sociobiología y con claras implicaciones biológicas y evolutivas. Un ejemplo más lo constituye la práctica social habitual de fuerte vigilancia de las mujeres que se incorporan al grupo patrilineal por parte de las suegras, expresando la preocupación de los miembros del grupo de descendencia por la filiación biológica de los hijos, tal como se puede observar en las sociedades musulmanas, en los pueblos bereberes o en las comunidades gitanas.



Fig. 3. Los sistemas de parentesco constituyen formulaciones específicamente humanas de representar las estructuras familiares desde cada lógica cultural.



Fig. 4. El vínculo materno-filial constituye un eje para configurar otras relaciones sociales y afectivas en los grupos humanos.

Más allá de la diversidad de los sistemas de parentesco humano, el antropólogo R. Fox (1972) centró su interés los elementos comunes a éstos, y llegó a la conclusión de que la unidad familiar elemental estaría constituida por el binomio “madre-hijo”, como núcleo invariante, a partir del cual, se articulan el resto de estructuras familiares y sistemas de parentesco. La antropóloga física Hrdy (1999), a partir de estudios en primates y otras especies de mamíferos, ha abordado los aspectos biológicos y evolucionistas de la relación materno-filial (el popular “instinto maternal”), para reafirmar el papel fundamental de este vínculo en nuestra especie, donde los requerimientos de la neotenia y del prolongado proceso de socialización, enculturación y aprendizaje sociocultural exige reforzar un vínculo madre e hijo, y de la madre con otros miembros de los sistemas familiares para garantizar la supervivencia y crianza de los niños; estando ambos vínculos socioafectivos mediados por procesos hormonales como los niveles de prolactina y oxitocina, con marcadas funciones biológicas y sociales en el vínculo madre-hijo, y que por extensión sirven como base a comportamientos de afecto y vínculo social más allá de esta unidad nuclear. En este binomio, la principal aportación parental de la madre se complementa con distintas estrategias para incrementar ésta a través de distintos sistemas y grados de inversión parental del padre, buscando resolver el conflicto de intereses evolutivos divergentes de los sexos (o más correctamente, de las estrategias reproductivas sexuales de ambos sexos) que debe sumarse al conflicto entre padres y descendientes descrito por Trivers (1974).

Una revisión de los sistemas de organización social y reproductiva en primates

En las distintas especies de primates, los diferentes sistemas sociales de emparejamiento están condicionados por la diversidad de ambientes que pueblan (bosques tropicales y subtropicales, sabanas...) con distintos recursos y

presiones predatorias. En el abanico de las diversas especies se observa la práctica totalidad de estructuras sociales posibles, desde parejas monógamas, a harenes poliándricos, tropas con estructuras multinivel, grupos flexibles de fusión-fisión, e incluso casos de poliandria (calitricios). Con carácter general, las distintas estructuras sociales practican la expulsión de los sujetos maduros de ambos sexos (con mayor o menor intensidad, según su organización social) como estrategia de control de la consanguinidad mediante el intercambio de genes entre grupos (Smuts et al. 1987).



Fig. 5. Las estructuras sociales y familiares en primates responden a las exigencias evolutivas de la crianza y cuidado prolongado de sus crías.

En una revisión realizada por Lee (1994) sobre la frecuencia de los distintos sistemas teóricos de organización social en una muestra de 167 especies de primates, dentro del 83% de especies catalogadas como “sociales”, la forma más común de sistema social estaría organizada a partir de un subgrupo de hembras emparentadas que constituirían la base del grupo social (47%). A estas unidades de hembras emparentadas se vincula bien un único macho (formando un harén) o un pequeño grupo de machos formando alianzas (emparentados o no). La monogamia también estaría representada en numerosas especies de primates (31%). Y por último, existirían formas residuales como la poliandria (harenes de machos) presente en 9 especies.

Entre de los simios antropoides se observa también un amplio espectro de estructuras sociales y estrategias reproductivas, desde la monogamia de los gibones, a la poliginia del orangután (con harenes de hembras que ocupan territorios independientes), la poliginia grupal de los gorilas, o las estructuras abiertas (grupos de fusión-fisión) de los chimpancés. Además, cabe observar como evolucionarán y se adaptarán a los nuevos contextos ecológicos las estructuras sociales de estos primates en los nuevos contextos de las reservas naturales donde habitan en su mayoría (con una disponibilidad regular de alimentos, reducción de depredadores y de grupos competidores...).

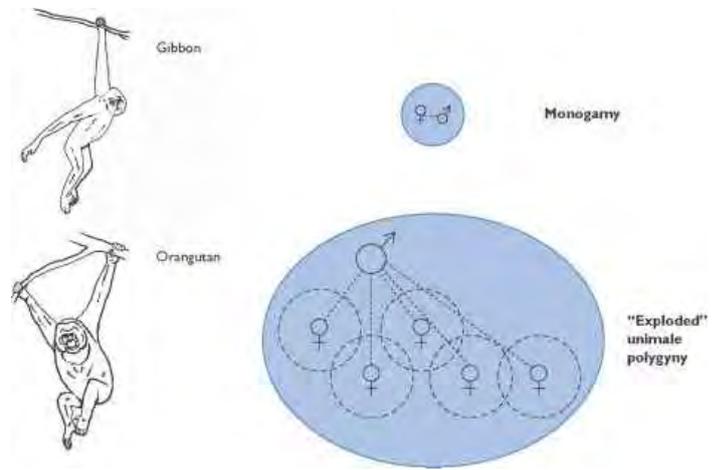


Fig. 6. La organización monógama de los gibones y el harén disperso constituyen formas opuestas de organización social en los antropoides asiáticos, asociadas a claras divergencias en su morfología y conducta.

Los gorilas presentan una estructura basada en harenes de hembras emparentadas junto a un macho adulto dominante, con expulsión de los machos jóvenes cuando alcanzan la madurez sexual. Los machos jóvenes solitarios vagan en la periferia de los grupos consolidados compitiendo con los machos dominantes por arrebatarse su harén, o atraer alguna hembra joven, con la que crear nuevos grupos.



Fig. 7. Los gorilas practican un modelo de poliginia de un solo macho, asociada a un fuerte dimorfismo sexual y una intensa competencia entre machos.

En el caso de los chimpancés, sus complejas estructuras sociales se basan en alianzas de machos que conforman un grupo dinámico vinculado a un número variable de hembras que conviven y cooperan en la crianza de la descendencia del grupo (en numerosas ocasiones, aunque no necesariamente, estas hembras suelen estar emparentadas). Por su parte, las alianzas de machos en estas estructuras sociales suelen estar basadas en un frecuente (aunque no imprescindible) parentesco genético así como sobre vínculos de cooperación y reciprocidad, posibles gracias a su capacidad cognitiva y representacional. Estas alianzas de machos colaboran en la defensa de un territorio y del grupo, en el marco de una estructura jerárquica donde practican relaciones sexuales de promiscuidad aunque reguladas por las posiciones y relaciones jerárquicas en los individuos de ambos sexos, junto a las estrategias socio-reproductivas los machos practican una intensa competencia espermática. Entre los machos (como entre las hembras) se observa una marcada jerarquía dentro del grupo,

que adopta la forma de un orden dinámico en función de las estrategias y alianzas de los sujetos. Los machos se muestran desvinculados de las tareas de crianza de las crías (como ocurre en la mayoría de especies de primates) y apenas realizan inversión parental en la descendencia, más allá de la protección general del grupo y la defensa del territorio colectivo. Los bonobos (la otra especie de chimpancé) presentan estructuras sociales similares a la descrita, con relaciones complejas basadas en alianzas temporales y jerarquías, que son construidas en gran medida sobre el uso del sexo como elemento fundamental en el establecimiento de relaciones sociales, vínculos afectivos y de dominación/sumisión.

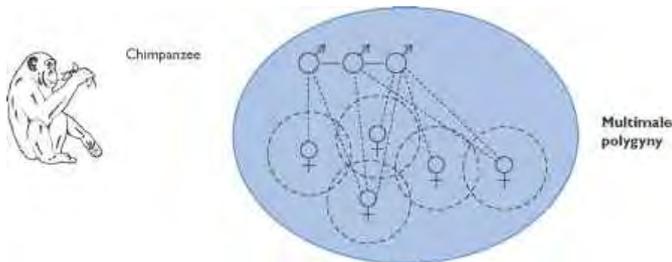


Fig. 8. Los chimpancés han desarrollado complejas estructuras sociales donde el grupo de hembras convive con varios machos relacionados por alianzas basadas en vínculos biológicos y/o sociales.

Se observa como en estos sistemas sociales abiertos de relaciones sexuales y reproductivas descritos en los grupos de chimpancés y bonobos conducen a respuestas de baja inversión parental de los machos, reducida a escasas aportaciones de alimento como regalos en sus interacciones sexuales con las hembras, y a la defensa del grupo junto a otros machos. Los distintos grupos intercambian individuos en los momentos de fusión, especialmente hembras (de modo similar a como operan las sociedades de fusión-fisión en humanos), siguiendo fórmulas de intercambio donde las hembras jóvenes abandonan sus grupos de origen y territorio natal, cuando alcanzan su madurez sexual, para integrarse a otros grupos.

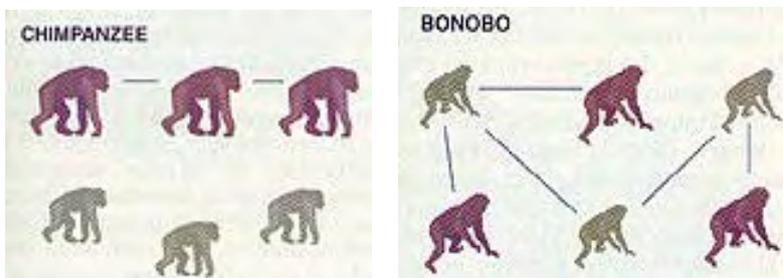


Fig. 9. Las dos especies de chimpancés (chimpancé y bonobo) viven formando complejas estructuras sociales multimacho basadas en marcadas jerarquías sociales y alianzas entre machos.

En contraste con la característica residencia matriloca de los monos del Viejo Mundo, con sistemas sociales organizados a partir de núcleos de hembras emparentadas. Entre los simios antropoides la residencia matrilineal estable es muy extraña, dado que tanto los machos como las hembras suelen dispersarse, abandonando su grupo de referencia al alcanzar la madurez sexual. Lo que se observa tanto en el monógamo gibón como entre los solitarios orangutanes, o en los grupos de gorilas y chimpancés. En el caso de los gorilas, las hembras se dispersan antes de alcanzar la edad reproductiva, como hacen también la mayoría de los machos, si bien algunos machos adultos continúan junto a su padre, e incluso llegan a heredar el harén. Entre los chimpancés, las hembras suelen dispersarse a edad temprana, mientras que los machos suelen continuar en el grupo durante un mayor tiempo vinculados a alianzas cooperativas basadas en el parentesco, si bien las dinámicas internas de estas unidades suelen acabar expulsando a la mayoría de estos individuos jóvenes. En el caso de los chimpancés pigmeos o bonobos, las hembras se dispersan tempranamente mientras que los jóvenes machos permanecen en el grupo aunque sometidos a los incidentes asociados a la jerarquía y a la inestable estructura de alianzas, y a sus circunstancias particulares (de mayor o menor éxito) dentro de las relaciones macho-hembra en el interior del grupo (Foley, 1997). Dentro de esta tendencia general de expulsión de los individuos jóvenes de los grupos de primates, se observa una mayor intensidad de los eventos de intercambio entre grupos de las jóvenes hembras (como suele ser también el patrón mayoritariamente presente en los modelos familiares más frecuentes en las poblaciones humanas: los sistemas patrilineales poligínicos o monógamos).

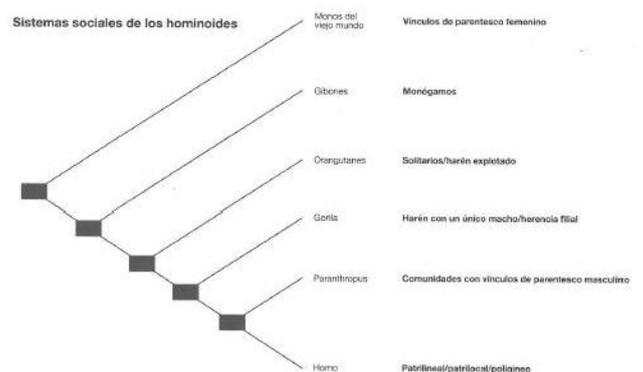


Fig. 10. La amplia diversidad de los sistemas de organización social en las distintas especies de primates muestra la relevancia de los factores ecológico-evolutivos y adaptativos, más allá de los vínculos filogenéticos.

En el caso de los humanos, la regulación de los sistemas de intercambio de individuos entre grupos y poblaciones viene determinada por las distintas formas culturales de definición del

parentesco y del tabú de incesto. Estos rasgos universales a las distintas culturas humanas (la organización social del parentesco y la evitación del incesto) son redefinidos según los distintos sistemas culturales para delimitar y restringir las personas incluidas en el grupo de parientes y objeto de prohibición sexual en cada caso. Las reglas de “matrimonio preferente” como sistemas de intercambio de mujeres definen un sistema variable de “endogamia-exogamia” que regula el intercambio de esposas. Sistemas y reglas sociales que aunque los antropólogos culturalistas insistan en que no tienen significado biológico, definen claramente una fórmula social de garantizar la calidad genética de los grupos, señalando con quien casarse y con quien no, pero siguiendo la regla general de “casarse fuera del grupo pero no muy lejos del grupo”, lo que combina y garantiza los objetivos biológicos de la evitación de la consanguinidad con la necesaria estrategia de construcción de sólidas redes y alianzas sociales entre grupos. Siendo ambas estrategias claramente funcionales para el grupo como adaptación, biológica una y social la otra.

La permanencia en el tiempo de las alianzas sociales a través de las uniones es garantizada por instituciones socioculturales como el “levirato”. Así, cuando el que fallece es el varón, la institución del levirato (matrimonio con un hermano del esposo fallecido) común en la mayoría de los sistemas patrilineales tradicionales (poligámicos o monogámicos) representa una continuación del vínculo y la relación establecida entre grupos, así como una estrategia fundamental (en términos adaptativos y evolutivos) para garantizar la crianza de los hijos mediante la inversión parental del tío paterno que asume la responsabilidad de su cuidado y educación, al tomar en matrimonio a la esposa viuda de su hermano, realizando una inversión inclusiva en su linaje genético al garantizar la supervivencia de sus sobrinos (práctica que ha sido institucionalizada tanto en sociedades con predominio de la poliandria, como en sociedades monógamas, actuando como recurso de emergencia para el cuidado de parientes de su linaje).

Hacia una interpretación evolucionista de los sistemas de parentesco

Frente al modelo culturalista y relativista dominante en el estudio antropológico-social del parentesco, la familia y la sexualidad humana, en las últimas décadas han venido apareciendo investigadores de orientación biocultural, entre los que cabe destacar a Fox (1972), Van Den Berghe (1983), Hughes (1988), y más recientemente Allen et al. (2008) y Parkin y Stone (2007), que están abordando el estudio de los sistemas de parentesco observados en el registro etnográfico desde una perspectiva evolucionista. La sorprendente aportación del enfoque evolucionista

ha sido mostrar como la diversidad cultural (aludida repetidamente por el paradigma culturalista) no ha podido elevarse y evadirse por encima de los condicionamientos ecológicos y evolutivos básicos. Con objeto de ilustrar esta aportación de la Antropología Evolucionista vamos a hacer un repaso por los principales sistemas de parentesco humano, y comprobaremos como todos ellos se ajustan y adaptan a elementos básicos, invariantes y subyacentes, definidos por leyes generales eco-evolutivas como la búsqueda de la “eficacia inclusiva” de los sujetos, una mayor tendencia al control de los varones en los grupos (en mayor o menor grado según los tipos de organización social) o la relevancia de las condiciones ecológicas y demográficas en la definición de los sistemas sociales específicos y sus dinámicas de cambio en el tiempo.

Empecemos por los sistemas patrilineales, que en su vertiente monógama son los modelos más cercanos a nuestro contexto cultural, y los más frecuentes en la mayoría de las sociedades humanas (en las sociedades euroasiáticas, americanas, en el norte de África y el África subsahariana, y hasta hace unas décadas en la mayoría de la Europa tradicional, y en su forma reducida como “familia nuclear”, los más extendidos actualmente en todas las sociedades occidentales). Dichos modelos patrilineales se caracterizan por definir un sistema de herencia de los derechos sociales, el patrimonio y el poder social a través de la “línea paterna”, donde las mujeres al emparejarse se incorporan a los grupos de origen del varón (residencia patrilocal) y los distintos grupos practican reglas de intercambio marital de mujeres entre sí. Constituyendo un modelo cultural orientado a lograr el control sobre la mujer como productora de miembros para el grupo, salvaguardando con su vigilancia la permanencia en el tiempo de sus patrimonios: sangre (genes) y nombre (apellidos).

Los sistemas patrilineales polígnicos (constituidos por un varón con varias esposas) han sido y fueron muy frecuentes en la mayoría de los contextos sociales y poblaciones humanas a lo largo de la historia, constituyendo una clara expresión de la estrategia de maximización de la eficacia reproductora de los varones, desarrollada en aquellos contextos y situaciones en los que, ya por la existencia de una amplia disponibilidad de recursos, o por el estatus particular de los varones, éstos podían (o pueden) permitirse una familia ampliada. Es una práctica frecuente que en una gran número de los casos culturales de poliginia, por costumbre social o regla cultural, las distintas esposas de un varón suelen estar biológicamente emparentadas (siendo frecuentemente hermanas o primas) definiendo la denominada “poliginia sororal”. Dicha práctica social estaría fundada en una situación funcional para las mujeres emparentadas dentro de un sistema

poligámico, que de este modo competirán en menor grado por los recursos disponibles para sus hijos dentro de la unidad familiar extensa (al ser también sus parientes biológicos los otros hijos de su esposo), lo que favorecerá una mayor colaboración entre las mujeres en la crianza conjunta de los hijos de la unidad doméstica. Ésta no sería una estrategia novedosa en la historia evolutiva, dado que en otras especies de mamíferos con harenes también es común la existencia de relación genética entre las hembras que colaboran en la crianza de sus hijos.

El modelo social contrario serían los sistemas matrilineales o matrilineajes, centrados en las líneas de descendencia y de adscripción materna, habitualmente empleados por los culturalistas para criticar las ideas sociobiológicas en la especie humana (con presencia, aunque con una frecuencia significativamente menor que los patrilineales, en buen número de sociedades como los Nayar de la India, los mapuche sudamericanos, los Bubi de Guinea, los iroqueses de la América precolonial o algunas sociedades europeas prerromanas). Respecto a los sistemas matrilineales (donde la pertenencia al grupo y sus derechos es adquirida por la “línea materna”) resulta curioso observar que lejos de conformarse como el deseado “matriarcado” que muchos investigadores/as llevan tiempo buscando en ellos, dichos sistemas matrilineales constituyen grupos donde la autoridad es detentada por los varones de la familia (los tíos maternos, hermanos e hijos varones mayores). Si bien se trata de sistemas donde las mujeres gozan de una mayor autonomía social y sexual, es debido a esa situación de mayor autonomía sexual femenina que los hombres actúan en sus relaciones socio-sexuales como parejas temporales o simplemente como visitantes conquistadores, ya que éstos (sin seguridad ni control sobre su paternidad) no asumen responsabilidades en la crianza y cuidado de los niños, siendo éstas competencias (de “padre social”) asumidas por los tíos maternos (quienes sí gozan de la certeza del parentesco biológico con sus sobrinos), que asumen distintos grados de responsabilidad en el cuidado, manutención y crianza de los hijos de sus hermanas, según cada sistema sociocultural. Se trata así, de un modelo general donde los varones optan por invertir más recursos y esfuerzos en la crianza de los hijos de sus hermanas, que sobre los hijos de sus parejas temporales o esporádicas, sobre los que no tienen certeza de su paternidad.

Un análisis estadístico de las culturas humanas incluidas dentro del *Ethnographic Atlas* (1967) de George P. Murdock (1967) sobre 752 sociedades históricamente documentadas dio los siguientes datos (Tabla 1).

A partir de dichos datos cabe destacar la mayor presencia estadística de los sistemas patrilineales, y su tendencia al intercambio de mujeres (emparejamientos exogámicos intergrupo); frente a los sistemas matrilineales definidos por reglas predominantes de residencia postmarital junto al grupo de la madre (matrilocal) o el tío materno (avunculocal) de la esposa, con un patrón de residencia donde las mujeres continúan conviviendo junto a su familia materna, y el hombre constituye un elemento móvil e inestable dentro de la estructura residencial y familiar de los sistemas matrilineales.

Vayamos ahora a un caso más extremo y altamente infrecuente en los grupos humanos, la poliandria (es decir, la convivencia y cohabitación de una mujer con dos o más maridos). Este sistema estaría representado por contados casos registrados en pueblos aislados de los valles de montaña del Himalaya y entre poblaciones “inuit” o esquimales del Ártico. Hay que aclarar que este sistema no representa un modelo de inversión del rol de poder de los varones a favor de las mujeres, sino una adaptación de la estrategia de emparejamiento de los varones a situaciones particulares y extremas, donde las duras condiciones ecológicas y la escasez de recursos no permiten a un sólo hombre mantener a su esposa, viéndose obligados a tener que compartir ésta con otro hombre. En estos casos (atractivos para los culturalistas como argumentos contra la Sociobiología Humana) nuevamente volvemos a encontrar datos empíricos a favor de las tesis sociobiológicas, ya que se observa en la práctica totalidad de estos contados casos, que los hombres que comparten esposa son hermanos o parientes muy cercanos, lo que supone para ambos optimizar su éxito reproductivo a través de su eficacia inclusiva, dado que compartiendo la función de crianza de los hijos de la unidad familiar invierten su esfuerzo y recursos, en el peor de los casos, en la crianza de sus sobrinos sí no de sus hijos.

En este breve repaso por los principales sistemas de parentesco, hemos podido ver como lejos de servir para alimentar el argumento de una amplia (prácticamente infinita) diversidad cultural humana, contraria a la idea de la existencia de elementos comunes o universales sobre bases biológicas (evolutivas y ecológicas) en el comportamiento socio-sexual humano, constituyen un abanico de situaciones con una lógica interna común (garantizar el éxito reproductivo, a través de la eficacia biológica directa o inclusiva) que apoyaría la existencia de elementos subyacentes que condicionan y limitan la variabilidad cultural humana a las exigencias biológicas básicas de nuestra especie. Ya que todos ellos,

TABLA 1. Relación entre residencia posmarital y filiación

Tipo de filiación	Matrilocal	Avunculocal	Patrilocal	Otras	Total
Patrilineal	1 (0,13%)	0	563 (74,87%)	25 (3,32%)	588 (78,32%)
Matrilineal	53 (7,05%)	62 (8,24%)	30 (3,99%)	19 (2,52%)	164 (21,68%)

bajo su diversidad responden a lo que sería esperable desde las tesis evolucionistas, respecto a las estrategias evolutivas y reproductivas de los hombres y mujeres. Pudiendo observarse así que, tras el amplio abanico cultural humano persiste la acción de los requerimientos ecológicos y evolutivos básicos de la especie humana.

¿Cuál es el sistema de familia más característico de la especie humana?

En una revisión de las distintas sociedades humanas de las que existe registro etnográfico o histórico de sus sistemas de parentesco, se observa que estadísticamente en la mayoría de culturas ha predominado la existencia de reglas sociales a favor de la poliginia (si bien es cierto que su práctica efectiva estaría limitada a una parte de la población masculina, condicionada por el estatus social de los varones, y restringida posiblemente a un número minoritario de unidades familiares del grupo). Murdock (1967) realizó una revisión sobre sus archivos etnográficos y llegó a la conclusión de que existe un predominio de los sistemas poligínicos en las culturas humanas (con especial incidencia en África y Asia en la actualidad, y con una mayor presencia generalizada en el pasado, según el registro histórico en las poblaciones del ámbito cultural judeocristiano: pueblos europeos prerromanos, pueblos bíblicos...). De este modo, frente a lo sostenido por numerosos autores (moralistas, historiadores, sociólogos y biólogos) la monogamia no es el tipo de matrimonio y familia más frecuente en las poblaciones humanas como conjunto.

En una comparación de 565 sociedades humanas, el antropólogo G. Murdock (1967) encontró que la poligamia era permitida en más del 80% de ellas, frente a un 16% de sociedades con claro dominio de la monogamia. En estudios más recientes, los porcentajes para la poliginia se reducen al 60%, y los de monogamia se incrementan hasta el 20%; sin embargo hay que considerar que un 16% de la muestra son casos variados donde definirlos como “no poligínicos” resulta muy complejo (Scheidel 2008). De acuerdo con el “Ethnographic Atlas Codebook” (1998), con 1231 sociedades registradas, 186 de ellas serían monógamas, 453 mostrarían una poliginia ocasional o poco frecuente, 588 tienen la poliginia como la estructura familiar más frecuente, y en 4 casos practicarían la poliandria.

El antropólogo de orientación evolucionista D. Barash (1981) en su obra resumen sobre los aspectos generales de la sociobiología humana comentaba como antes de la expansión de las normas culturales occidentales, el 70% de la población del mundo era polígama (tribus de norte y sudamérica, pueblos árabes y negros africanos, en Asia y Oceanía, o el conocido concubinato en Europa y Asia). Sin embargo, las

estructuras sociales en las que se insertan los “harenes humanos” (que salvo contadas excepciones eran y son modestos en número) se caracterizan por la existencia de una gran cantidad de hombres que permanecerían monógamos, dado que la posibilidad de acceder a más de una mujer estaría en función de la posición social, riqueza y prestigio de cada varón. Como explicación al predominio de la práctica de la poliginia en las sociedades humanas, Barash recurre a la hipótesis del dimorfismo sexual como base para sugerir que esta forma de emparejamiento y relaciones socio-sexuales constituirían el estado natural de “homo sapiens”. El antropólogo físico R. Lewin (1994) coincide en que la monogamia y la familia nuclear no pueden considerarse la forma común en la especie humana más allá del contexto cultural de las sociedades occidentales. De hecho, expone que según los análisis de la variación en la estructura social a través de las sociedades humanas modernas los datos muestran que en torno a un 75% de éstas son poligínicas.

Con carácter general, la poligamia describe cualquier tipo de matrimonio que permite a un marido o mujer tener más de un esposo/a. Pero diferenciando, existen dos tipos de poligamia: la poliginia, en la que un hombre puede estar casado con más de una mujer al mismo tiempo, y la poliandria, mucho menos común (según Murdock, un 1%), en la que una mujer puede tener dos o más maridos simultáneamente. Con la expansión reciente de los modelos familiares monógamos en las sociedades occidentales, si bien las leyes y normas morales sancionan la poligamia, en la práctica real se mantiene una importante poliginia encubierta, especialmente entre varones que ocupan posiciones sociales altas. De hecho, el concubinato existió en las clases altas del mundo romano que institucionalizó la monogamia en el Imperio, y por supuesto durante la Edad Media europea donde se consolidó en la institución social de las “barraganas” y “mancebas”, trasladada como estrategia reproductiva de los conquistadores españoles posteriormente al Nuevo Mundo, dentro de las nuevas estructuras sociales de la América colonial.

Como conclusión, los datos parecen señalar que el modelo predominante en las sociedades humanas sería un abanico flexible donde las estrategias familiares se moverían entre una tendencia general a la poligamia (poliandria) combinada con las prácticas monógamas o de monogamia serial, en función de los contextos ambientales, tales como la disponibilidad media de recursos para cada unidad familiar, junto con otras estrategias más residuales (condicionadas por situaciones ecológicas muy específicas, y dentro de ciertas restricciones biológicas).

Como describe el etólogo M. Soler (2009) en su libro de revisión sobre los aspectos evolutivos

y adaptativos del comportamiento humano, respecto a los sistemas de apareamiento en humanos no se puede hablar de un solo sistema de apareamiento, ya que aunque en nuestras sociedades industriales predomina la monogamia, no es lo común en la mayoría de culturas humanas. Por lo que el autor mantiene que como en otras especies primates, el sistema de apareamiento es variable y flexible en función de factores ecológicos, que en nuestro caso estaría vinculado a la gran diversidad de hábitats que ocupan las poblaciones humanas. No obstante, para determinar cual es el sistema de apareamiento que se puede considerar típico de la especie *Soler* recurre a los datos de Cartwright (2000) que sobre un elevado número de etnias y culturas no occidentalizadas identifica una mayoría de ellas como poligínicas (83,4%), la monogamia como forma predominante en algunas sociedades estaría representada en un 16,1%, y la poliandria sería muy escasa, con solo un 0,5% de casos (circunscrita, fundamentalmente, a varias etnias locales de los valles del Himalaya, y en una forma más cuestionable entre los indios aché de Paraguay).

¿Cuál habría sido el sistema originario de organización socio-sexual de la especie humana?

Los datos etnográficos y comparados en distintas especies de primates y homínidos muestran que originariamente como ocurre en algunos simios, existiría una tendencia a la formación de harenes poligínicos (gorilas) de dimensiones reducidas o de alianzas de machos para el control de grupos de hembras y sus hijos (chimpancés). No obstante, cabría esperar (tal como ocurre entre los chimpancés) una organización social en sistemas variables y flexibles en función de las condiciones ambientales (grupos de fusión-fisión). De hecho, las bandas de cazadores-recolectores actuales (y las bandas de homínidos que debieron funcionar de modo parecido) operan de forma similar, dentro de un modelo flexible y condicionado por las condiciones ambientales, dentro de procesos de fusión-fisión de acuerdo a los ciclos estacionales. Siguiendo con el modelo de las bandas de cazadores-recolectores, cabe prever que, de acuerdo con la necesidad de compatibilizar su actividad con una mayor inversión de ambos padres en la crianza (característica de los homínidos) se seleccionarían las uniones estables y duraderas, y donde en condiciones de escasez de recursos sea probable que el tamaño de las unidades reproductoras se pueda mover en un espectro de unidades básicas pequeñas limitadas a parejas o a matrimonios poligínicos reducidos (2-3 esposas), donde el tamaño de estas estructuras domésticas estaría condicionado por la posición social del varón o por situaciones

específicas tales como compromisos sociales adquiridos dentro del grupo, como los asociados a situaciones de poliginia sororal o de levirato.

De acuerdo a lo observado, si bien parece que la mayoría de sociedades con registro histórico o tradición oral transmitida han mostrado la práctica de la poliginia en su historia social, cabe esperar que ésta siempre haya estado condicionada en el marco de las distintas estructuras sociales por la posición social del varón y la disponibilidad de recursos por parte de la unidad doméstica. No obstante, las formas no han debido ser nunca excluyentes sino complementarias, tal como se puede observar hoy en las poblaciones contemporáneas. Sirva el ejemplo de cómo aunque numerosas sociedades, especialmente las de tradición judeo-cristiana han sancionado la poliginia a través de la moral social o religiosa, las prácticas sociales reales han mantenido una importante presencia de fórmulas alternativas, especialmente en varones que presentan como una estrategia sexual y reproductiva frecuente una modalidad de poliginia encubierta. Paralelamente, las mujeres habrían empleado en el marco de los distintos sistemas familiares, como estrategia reproductiva ocasional la práctica de los contactos extrapareja como un complemento a su estrategia reproductiva familiar, orientada a una búsqueda de “buenos genes” adicionales al aporte de genes y recursos de sus esposos.

La antropóloga H. Fisher (1987), así como otros autores (Gil-Burman et al. 1997), han planteado el modelo monógamo como el más característico en el origen evolutivo de la especie humana, basándose en la necesidad de una importante inversión parental de ambos padres para la larga crianza de los niños humanos, lo que haría necesario un fuerte y prolongado vínculo entre los progenitores. La primera objeción a esta tesis sería preguntarnos porque suponer como única forma de vínculo estable la monogamia, o sobre si esta forma realmente lo es. Siguiendo un argumento similar al de Fisher, el paleoantropólogo Lovejoy (1981) sostiene dentro de su modelo evolutivo que la estrategia vital de los primeros homínidos se basaría en hacer compatible la condición bípeda y las exigencias de una prolongada crianza y cuidado de las crías humanas, a lo que contribuiría el sistema de monogamia con una alta inversión parental que aliviaría la fuerte carga de las hembras. Foley cuestiona firmemente este modelo de los primeros homínidos organizados en familias nucleares articuladas con un macho abastecedor y la mujer cuidando a los niños y recolectando en torno hogar, al considerar que está dirigido únicamente a justificar y explicar la monogamia, aunque resulte más que dudosa su aplicación a las sociedades de cazadores-recolectores contemporáneos, y posiblemente al modelo de vida social de los primeros homínidos (Foley 1997). Otros autores han adoptado posturas intermedias,

intentando adaptar la defensa del modelo monógamo como característico de *Homo Sapiens* con las prácticas observables en poblaciones contemporáneas y en los comportamientos reproductivos de otras especies. En esta línea Cartwright (2000) defiende que la forma familiar de los primeros homínidos sería la monogamia combinada con la poliginia oportunista, combinando las exigencias de inversión parental intensiva de ambos padres con la estrategia reproductiva maximizadora masculina.



Fig. 11. El estudio de las estructuras sociales de los grupos de cazadores-recolectores contemporáneos y de distintas especies primates constituye la base para inferir la organización social de los primeros humanos.

También en los últimos años, ligado al creciente uso de los modelos primatológicos de chimpancés y bonobos al estudio de la evolución social de los homínidos, se está planteando la defensa de los modelos matrilineales como una posible fórmula social y familiar originaria de nuestro linaje (Knight 2011). Considerando como argumentos de apoyo que las bandas homínidos funcionarían (como ocurre con los grupos de chimpancés) como sociedades de “fusión-fisión” con una organización igualitaria entre sexos, donde la fuente de seguridad y estabilidad (ante la baja certeza de la paternidad en una estructura social inestable y variable) sería aportada por el vínculo madre-hijos ampliado al linaje materno, y completado con la participación de la “hipótesis de la abuela” (que sostiene una ampliación del ciclo vital de la mujer asociado a la ventaja selectiva de papel post-reproductivo de éstas como colaboradoras de sus hijas en la crianza de los niños).

Respecto a los modelos anteriores, cabe cuestionar como primera objeción porque considerar como única organización familiar potencialmente estable en nuestro pasado evolutivo la matrilinealidad o la monogamia, cuando las poblaciones contemporáneas logran su reproducción social con diversas fórmulas o estructuras de parentesco. Esta vuelta a la defensa de la matrilinealidad como forma originaria de la familia humana, supone un regreso a ciertos planteamientos

románticos sobre la evolución de los sistemas de parentesco de los primeros antropólogos evolucionista decimonónicos, que solían especular con fórmulas primigenias de matriarcado, matrimonios de grupo y en general sistemas igualitarios entre sexos (Bachofen, Westermarck o Engel) que progresivamente se habrían complicado (degradado para Engel, evolucionado para Bachofen) hacia formas patrilineales y patriarcales (generalmente poligínicas), hasta alcanzar la fórmula monógama patrilineal característica de las sociedades civilizadas occidentales.

Contribuyendo a aclarar estos temas, cabe esperar que un creciente análisis cuantitativo comparado de la expansión, ritmos y variabilidad de los diferentes marcadores genéticos asociados al sexo (ADN mitocondrial y cromosoma Y), interpretados desde modelos que reproduzcan situaciones ajustadas a los distintos sistemas de parentesco podrá ayudar a dilucidar las formas originarias de parentesco en las poblaciones antiguas de humanos modernos. Si bien, considerando los datos en humanos contemporáneos y otros simios actuales (chimpancés y bonobos) cabe suponer (aunque limitada por restricciones evolutivas y ecológicas) una diversidad intra e interpoblacional en las prácticas sociales y de emparejamiento desde antiguo en nuestra historia evolutiva.

En lo referente a la hipótesis del dimorfismo sexual, a partir de los datos existentes de especies de primates (y otros vertebrados) cabe prever que, en los sistemas sociales poligínicos los machos serán típicamente de mayor tamaño que las hembras y presentarán mayores defensas para la lucha con otros machos (competición intra-específica) y contra depredadores (defensa del harén), como por ejemplo los caninos (sirva como ejemplo gráfico el caso de los babuinos). Contrariamente, de acuerdo con esta previsión, las especies de primates monógamas (véase como ejemplo el gibón) presentaran un grado de dimorfismo sexual muy bajo en los caracteres descritos, como puede observarse.

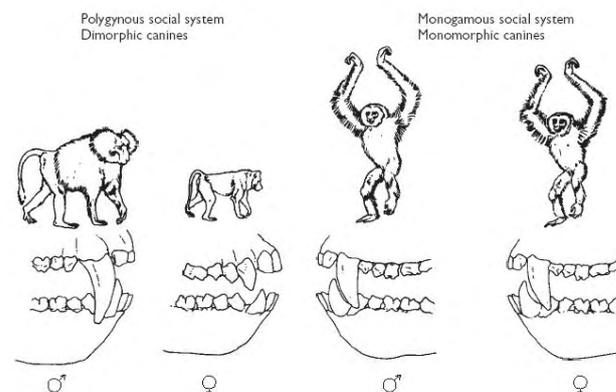


Fig. 12. Se ha observado una clara correlación entre la organización social y el grado de dimorfismo sexual, como puede verse al comparar el caso de los gibones monógamos y los babuinos poligínicos.

En el caso de la especie humana, existe una amplia controversia respecto al grado de dimorfismo sexual observable anatómicamente en nuestra especie (diferencias en tamaño fundamentalmente, ya que otras diferencias como los marcados caracteres sexuales primarios no dan lugar al debate). Respecto a la reducción de los caninos en ambos sexos, más que asociarlo a una reducción del dimorfismo vinculado a su modelo social, cabría relacionarlo con los cambios en su dieta y estrategia alimentaria. De modo que, su reducción podría ser compatible con la permanencia de una alta competencia y agresividad entre machos.

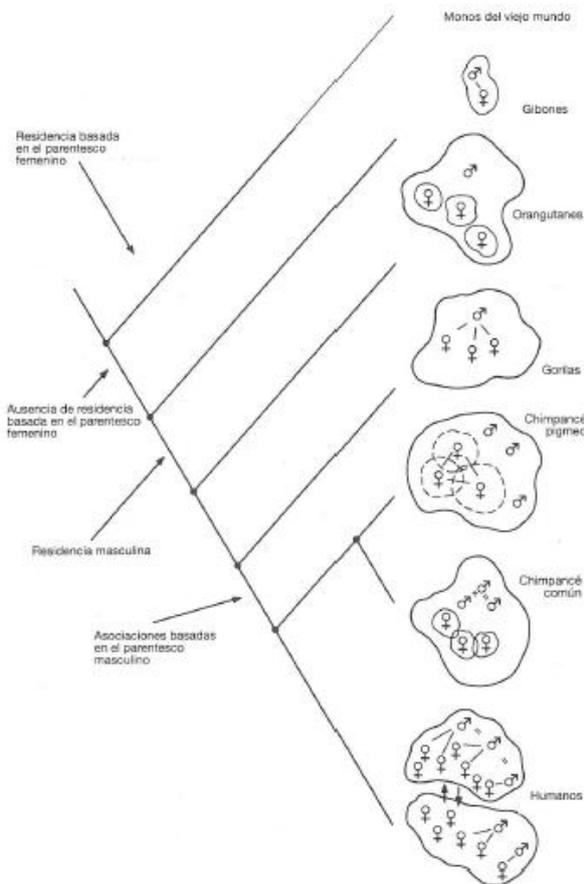


Fig. 13. Como tendencia evolutiva entre los antropoides se observa una reducida importancia en la organización social de vínculos basados en el parentesco de las hembras, y una creciente relevancia de las alianzas y asociaciones entre machos (chimpancés y humanos) en la articulación de los esquemas básicos de la estructura social.

Así, el relativamente moderado dimorfismo sexual observable en humanos (estimado en un 20 % del tamaño corporal, aproximadamente) con un mayor tamaño corporal en los varones, podría asociarse de acuerdo con la hipótesis ecológico-evolutiva a una situación de competencia entre machos en las poblaciones de primeros homínidos y humanos modernos. De este modo, si bien algunos investigadores apuestan por defender la monogamia como sistema socio-

reproductivo originario (a partir de argumentos como la ocultación del estro, o una ampliación de la receptividad sexual como estrategias para la inducir al macho a una mayor inversión parental y a la exclusividad sexual con su pareja monógama, como sistema altamente adaptativo para afrontar exitosamente el largo periodo de crianza de los niños humanos), cabe plantear como modelo alternativo, factible y compatible con la hipótesis ecológico-evolutiva un sistema social más abierto y flexible dentro de poblaciones humanas organizadas en bandas de cazadores-recolectores, en los que siguiendo una analogía ecológica con la organización social de las tropas de babuinos que ocupan hábitats de sabana similares a los de nuestros ancestros, cabe suponer un modelo de organización social donde convivirían unidades familiares formadas por parejas o por harenes (unidades poligínicas) de mayor o menor tamaño, en función del estatus social del macho (Foley 1997; Arsuaga y Martínez 1998). Modelo que resultaría coherente con el patrón descrito de un dimorfismo sexual moderado pero recurrente, asociable a una elevada competencia entre machos, así como con los datos estadísticos y transculturales observables en las poblaciones contemporáneas.

Un reciente trabajo de Marlowe (2003) sobre los sistemas sociales y reproductivos en las sociedades contemporáneas de cazadores-recolectores, para una muestra de 30 etnias, señala la existencia de poliginia moderada en un 60 % de los casos, monogamia generalizada en un 10 %, y poliginia generalizada en un 30 % de las sociedades analizadas.

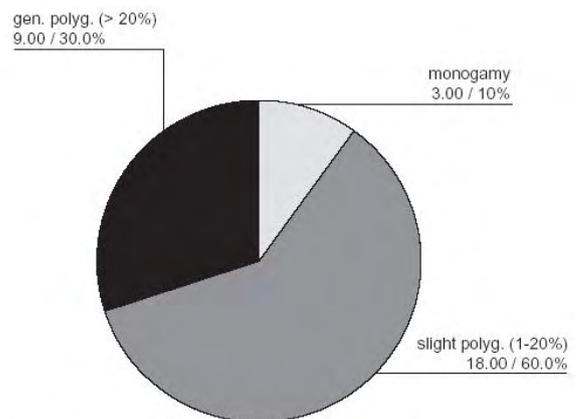


Figure 1: The Forager Mating System Measured by the Percentage of Married Women Polygynously Married ($n = 30$)

Fig. 14. El estudio de Marlowe (2003) ha revisado las formas de organización social y familiar en las poblaciones de cazadores-recolectores actuales, con un predominio de la poliginia generalizada o moderada.

Los homínidos desde su origen en la sabana ocupan territorios más amplios que los que defienden los chimpancés actuales, lo que exigiría formar grupos de mayor tamaño organizados como estructuras sociales multinivel y segmenta-

rias de “fusión-fisión”, en función de las posibilidades ecológicas del medio (espacial o estacional). Por lo que es previsible que las unidades familiares de las primeras bandas de homínidos fueran más similares a las de los babuinos (papiones hamadrias y geladas), formados por una estructura compleja compuesta por unidades familiares constituidas por machos con una hembra y sus descendientes o por machos de mayor rango social con un pequeño harén de hembras y sus crías, que conviven en sus desplazamientos y para dormir, y donde los machos cooperan en una defensa conjunta y organizada del grupo (frente a depredadores o agresores externos). Un sistema que resulta muy eficiente para la vida social en ambientes abiertos y de recursos irregulares, lo que hace pensar en la eficacia de un sistema social similar entre las bandas de cazadores recolectores de nuestros primeros ancestros (DeVore y Washburn 1963).

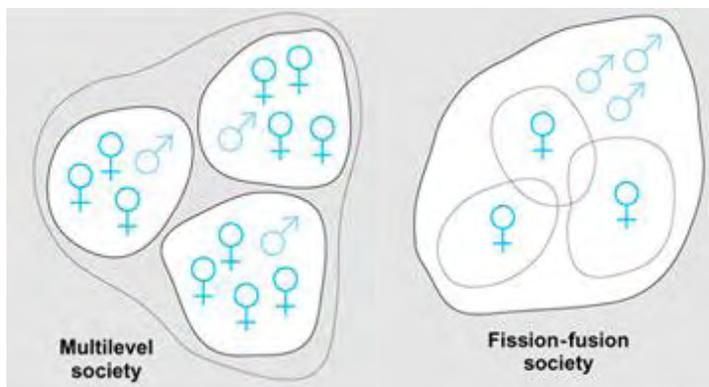


Fig. 15. En algunas especies de primates (babuinos, papiones, chimpancés y bonobos) aparecen modelos sociales complejos y dinámicos, con estructuras multinivel y procesos de fusión-fisión entre unidades de la misma, similares a las observables en las bandas de cazadores-recolectores humanos.

Ecología y estrategias reproductivas en primates humanos y no humanos

Para una hembra primate el principal factor determinante de su éxito reproductivo va a depender del acceso a recursos alimenticios (en no humanos, del control de territorios ricos en recursos; y en humanos, de la colaboración de machos eficientes como abastecedores y que controlen buenos territorios, como en el caso de las bandas de cazadores-recolectores). En cambio, para el macho primate el éxito reproductor va a depender de la posibilidad de acceso a hembras sexualmente maduras. Estas diferencias entre ambos sexos adoptaran expresiones variables (culturales) asociadas a los hábitats y condiciones ecológicas particulares, no ya como estrategias de especie sino de poblaciones o individuales, tal como también puede observarse en la varia-

bilidad de estrategias y sistemas sociales en chimpancés y humanos.

Considerando el largo periodo de desarrollo y maduración de nuestra especie asociado a la neotenia característica de nuestro proceso ontogénico, este proceso implica unos elevados costes y requerimientos para la crianza de los infantes humanos, especialmente en economías de subsistencia como sería el caso de los grupos de cazadores recolectores (argumento repetido constantemente por los teóricos defensores de la monogamia como sistema familiar típico de los humanos), lo que conduce a inferir la necesidad de unas estrategias familiares y de emparejamiento estables, incorporando al padre a la unidad económica (de abastecimiento) y reproductora. La ocultación del estro y la ampliación de la receptividad sexual de las hembras constituirían estrategias evolutivas dirigidas a reforzar el vínculo y compromiso del macho con la unidad familiar (la hembra y sus descendientes) como forma de control de la exclusividad sexual con la hembra y de contribución a la viabilidad de sus crías.

Respecto a la inversión parental en primates, cabe señalar que la contribución de los machos al cuidado de sus descendientes (inversión parental) no tiene ningún paralelismo con lo observable en humanos, y especialmente entre los simios antropoides (chimpancés, gorilas u orangutanes), donde los padres muestran un desinterés y descuido total por las crías. En el caso de los orangutanes (sin convivencia efectiva con éstas) el vínculo es prácticamente nulo, y en el caso de chimpancés y gorilas donde los machos emparejados adultos si forman parte de unidades familiares y de convivencia, la relación de los machos progenitores con sus descendientes se limita a una situación de tolerancia indiferente (sin participación en su alimentación y socialización) y a la protección del grupo contra depredadores o contra el riesgo de infanticidio por parte de machos de fuera del grupo (como ocurre en numerosas especies de mamíferos, el desplazamiento de los machos dominantes en un grupo por otro competidor triunfante representa el infanticidio de las crías lactantes para activar el ciclo de estro en las hembras conquistadas y poder cubrirlas para engendrar a sus propios descendientes, sustituyendo a los del macho previo, sobre los que recaería la inversión parental de las hembras del grupo de continuar vivos).

Desde un enfoque ecológico-evolutivo cabe plantearse e interpretar los costes y beneficios de los distintos sistemas de apareamiento y familia para cada sexo:

- En el caso de la poliginia, los hombres con suficientes recursos logran incrementar su éxito reproductivo, pero también las mujeres que acceden a emparejarse con hombres con poder y prestigio ganan posición social y recursos para sí

y sus hijos. Si bien es cierto, estudios de campo han mostrado una mayor capacidad reproductiva media (número de hijos) de las primeras mujeres en unidades poliginicas frente a las parejas monógamas, en cambio no parece resultar tan clara esta ventaja para las sucesivas esposas (Lipton y Barash 2003). De otro lado, la poliginia ofrece la posibilidad de emparejamiento a mujeres que desde situaciones periféricas y desfavorecidas en sus contextos sociales acceden a incorporarse (ellas, y sus hijos cuando los haya) a unidades domésticas capaces de proveerles de recursos sociales importantes en su ambiente social, como sucede con el caso de hermanas viudas de una esposa, hermanas o parientes no casadas con escasa capacidad de negociación en el mercado matrimonial, esposa/s de un hermano fallecido..., que a través de la institución de la poliginia sororal o del levirato acceden a la opción de incorporación a una unidad familiar que de otro modo les resultaría complicado en sus contextos socioculturales.

- La monogamia podría interpretarse como estrategia de adaptación a una opción “subóptima”, una reducción de la expectativa en ambos sexos (de selección de los mejores machos como proveedores de genes y recursos por parte de las hembras, y de la búsqueda de una actividad sexual amplia y diversificada con reducida inversión parental por parte de los machos), que será frecuentemente combinada con estrategias complementarias de relaciones extra-pareja para lograr la ganancia renunciada dentro de esta estrategia familiar.

- En los sistemas de poliandria, en los reducidos casos registrados en etnias del Himalaya los varones también aceptan una situación “subóptima” compartiendo esposa con su hermano a cambio de lograr incrementar su “eficacia inclusiva”, por su parte las mujeres logran garantizar (en contextos de escasez) mediante el recurso de dos varones proveedores a los recursos suficientes para la viabilidad de sus hijos en contextos ecológicos pobres. En el caso de los Aché de Paraguay, las mujeres al disponer de una pareja primaria (esposo legítimo) y otra secundaria (amante), en un contexto donde los hombres practican frecuentes agresiones y enfrentamientos violentos entre sí y con otros grupos que suelen dar lugar a numerosas muertes de éstos, logran garantizar para sus hijos un proveedor alternativo de recursos, reduciendo el riesgo de indefensión de los hijos al mantener una vinculación e inversión de ambos hombres sobre la mujer y sus hijos, motivado por una situación de relación y vínculo continuado en el tiempo y por la incertidumbre generada respecto a la paternidad de los hijos (Hill y Hurtado 1996).

La posición de las mujeres en los distintos sistemas de familia y parentesco

La posición que ocupan las mujeres dentro de los distintos sistemas de familia en las diferentes poblaciones humanas va a estar definido, fundamentalmente, por factores ecológicos y demográficos. Con un carácter muy general, de acuerdo con la teoría evolutiva y los principios ecológicos generales, cabe prever que:

- En los contextos donde exista una fuerte presión sobre los recursos (economías de agricultura de subsistencia, sociedades de cazadores recolectores en ecosistemas marginales...) se tenderá a definir sistemas de familia y parentesco que incrementen el control sobre la mujer como elemento potencialmente desestabilizador del sistema, por lo que éstas serán poco valoradas en cuanto productoras de más personas (de escaso valor para la supervivencia del grupo). Lo que incide en su situación deteriorando su rol social y posición dentro del grupo familiar.

- En los contextos donde el sistema productivo tiene una fuerte demanda de mano de obra (poblaciones de pastores, economías agrícolas intensivas...), las mujeres como productoras de personas gozarán de un mayor prestigio, unos roles con mayor autonomía, y una mayor valoración dentro de las unidades domésticas.

Un ejemplo, las poblaciones que ocupan áreas marginales con tecnologías intensivas en uso del suelo (agricultura de subsistencia) suelen sufrir situaciones de escasez y realizar una adaptación al mínimo, dada la baja capacidad de sustentación de sus ecosistemas. En este contexto las mujeres serán sancionadas como factor de riesgo de incrementar el tamaño de los grupos, por lo que suelen sufrir un fuerte control, vigilancia e incluso maltrato con objeto de reducir su función reproductora. Paralelamente, en estos contextos suele ser frecuente el recurso a prácticas directas de control de la población como el infanticidio o la negligencia en la crianza, como estrategias sociales de reducción de la fecundidad del grupo, y de limitación del tamaño de la población a la baja capacidad de sustentación de sus ecosistemas (Hausfater y Hrdy 1984). Considerando además, la tendencia de las culturas tradicionales a una adaptación al mínimo (“Ley del Mínimo de Liebig”) como práctica conservadora y previsoras de ajuste a unos recursos limitados, el control de la natalidad a través de estas prácticas u otras menos agresivas como la prolongación de la lactancia han constituido una práctica habitual en muchas sociedades tradicionales (Harris y Ross 1987).

De este modo, la valoración de las mujeres en las sociedades está vinculada a la presión demográfica sobre su territorio y recursos, de manera

que poblaciones con alta presión demográfica (India, China) presentarán una peor valoración de las mujeres y una actitud discriminatoria hacia las niñas, mientras que poblaciones con baja presión demográfica y con actitudes pronatalistas tendrán una mayor valoración de la mujer (sirva de ejemplos poblaciones subsaharianas de pastores como los Himba, Masai...).

El uso de practicas y tradiciones como la “dote” abonada por la familia de la novia (India, gitanos, sociedades preindustriales europeas...) o el “precio de la novia” abonado por la familia del novio como compensación por la pérdida a la familia de la novia (poblaciones de pastores africanas) expresan estas distintas valoraciones de las mujeres en sus sociedades.

En el caso de las poblaciones que precisan de abundante mano de obra, como los grupos de pastores de grandes rebaños donde la alta valoración de la fecundidad conduce a una mayor consideración de la mujer como productora de hombres o de mujeres (productoras de hombres), este alto valor de las mujeres queda representado en el “precio de la novia” que debe pagar el grupo del marido como compensación por privar a su grupo de origen de un valioso miembro. En este contexto, donde la mujer es altamente valorada como productora de personas, la infertilidad es fuertemente sancionada, siendo motivo para el repudio que la familia de la mujer suele evitar (ya que supondría devolver el “precio” recibido a cambio de la mujer) con la aportación de una segunda mujer (generalmente la hermana menor). En muchos casos, aun no existiendo repudio, suele ser habitual promover segunda esposa asociada a la primera como estrategia para reforzar las alianzas y pactos entre grupos, selladas por los matrimonios y el recibo del precio de la novia.

Por su contra, en las sociedades agrarias con economías de subsistencia es la familia de la mujer quien debe pagar una “dote”, como una compensación a la familia receptora del esposo por asumir la manutención de este nuevo miembro para el grupo. La dote tiene además un elemento de seguridad para la situación de la esposa en su nuevo grupo, ya que si se devuelve la mujer (por ejemplo en casos de infertilidad) debe devolverse la dote, lo que supone una gran dificultad para la una economía doméstica pobre.

Y que decir sobre la biología evolutiva y el parentesco en nuestras sociedades.

Si bien no existen demasiados estudios ni datos sobre el parentesco en las sociedades complejas (Bestard 1998; Alberdi 1999), los datos brutos y una observación del panorama social parece mostrar la existencia de frecuentes casos de inestabilidad y ruptura en las estructuras familiares, así como habituales conflictos en familias reconstruidas tras divorcios y rupturas de pareja,

asociados al cuidado y las responsabilidades sobre la descendencia propia y de la pareja, y provocados por la exigencia de una inversión parental dividida, y el conflicto de exigencia de las parejas seriales para la inversión en los hijos comunes o no, de la primera pareja o sucesivas.

En parejas separadas o familias desestructuradas la inversión parental de los padres respecto a sus descendientes disminuye de modo considerable, y frecuentemente la aportación a la crianza de los hijos en unidades domésticas con las que no se convive solo es posible mantenerla mediante el recurso a sanciones legales o penales.

Por otra parte, se ha registrado una alta prevalencia de casos de violencia contra los hijos en familias reconstruidas, asociada a conflictos de intereses en las parejas, relacionados con la exigencia-grado de inversión en los hijos propios o no de la unidad familiar, en lo que ha sido denominado como “efecto cenicienta”. Los psicólogos evolucionistas Daly y Wilson expertos en el estudio de la violencia social sostienen “el factor de riesgo más grave descubierto hasta hoy en el maltrato de los niños es la convivencia con un padrastro o una madrastra” (Daly y Wilson 1998).

Con respecto a los recientemente institucionalizados matrimonios homosexuales, aunque no existen estudios ni datos de referencia, la observación de casos muestra una reproducción del efecto de las distintas estrategias sexuales y reproductivas diferenciales de los sexos masculino y femenino, expresado en una mayor estabilidad promedio de los matrimonios entre mujeres (quienes realizan una mayor inversión en la pareja y en el cuidado parental en los hijos, caso de haberlos), que en el caso de los matrimonios entre varones (más inestables y menos duraderos de promedio).

Con carácter general, y como sustrato a las nuevas formas de familia, también en el contexto de las sociedades urbanas industriales y post-industriales, la unidad biológica madre-hijo continúa siendo el principal eje de estabilidad en los núcleos familiares y de convivencia (hetero y homosexuales).

Conclusiones

Resulta significativo, y no parece casualidad que en la mayoría de estos múltiples y diversos sistemas de familia y relaciones de parentesco presentados una y otra vez como ejemplo de la variabilidad cultural humana (y su liberación de la biología) se repiten reiteradamente fórmulas que dentro de su variación resultan compatibles con los principios de la Ecología Evolutiva y la Sociobiología relativos a las estrategias reproductivas previsibles dentro de la teoría evolutiva (conflicto de las estrategias de los sexos, búsqueda del éxito reproductivo y la eficacia

inclusiva...). Lo que nos lleva a asumir que en caso particular de las relaciones de parentesco (y posiblemente, en todo el comportamiento social y cultural humano) subyacen una serie de leyes y principios que condicionan, limitan y modulan la amplia variabilidad observable en su conducta y sus culturas.

Agradecimientos: A los amables comentarios de Laureano Castro, y sus orientaciones como figura destacada de los enfoques evolucionistas del comportamiento en nuestro país.

REFERENCIAS

- Alberdi, I. 1999. *La Nueva Familia Española*. Taurus. Madrid.
- Allen, N.J., Callan, H., Dunbar, R. y James, W. (eds.) 2008. *Early Human Kinship: From Sex to Social Reproduction*. Wiley-Blackwell. Oxford.
- Arsuaga, J.L. y Martínez, I. 1998. *La Especie Elegida: La Larga Marcha de la Evolución Humana*. Ed. Temas de Hoy. Madrid.
- Bachofen, J.J. 1987. *El Matriarcado*. Akal. Madrid.
- Barash, D. 1981. *El Comportamiento Animal del Hombre*. Ed. ATE. Barcelona.
- Bestard, J. 1998. *Parentesco y Modernidad*. Paidós. Barcelona.
- Cartwright, J. 2000. *Evolution and Human Behavior*. Macmillan Press, London.
- Chagnon, N. 2006. *Yanomamo: La Última Gran Tribu*. Alba Ed. Barcelona.
- Daly, M. y Wilson, M. 2000. *La Verdad sobre Cenicienta: Una Aproximación Darwiniana al Amor Parental*. Crítica. Barcelona.
- DeVore, I. y Washburn S.L. 1963. Baboon Ecology and Human Evolution. En: F.C. Howell y F. Bourlière (eds.). *African Ecology and Human Evolution*. Aldine Pub. Company. Chicago.
- Dumont, L. 1975. *Introducción a dos Teorías de la Antropología Social*. Anagrama. Barcelona.
- Fisher, H.E. 1987. *El Contrato Sexual: La Evolución de la Conducta Humana*. Salvat Ed. S. A., Barcelona.
- Foley, R. 1997. *Humanos antes de la Humanidad*. Ed. Bellaterra. Barcelona.
- Fox, R. 1972. *Sistemas de Parentesco y Matrimonio*. Alianza, Madrid.
- Gil-Burman, C.; Peláez del Hierro, F. y Sánchez, S. 1997. Factores ecológicos y sistemas sociales de los primates. Pp. 259-290. En: Peláez, F. y Veá, J. (eds.) *Etología. Bases Biológicas de la Conducta Animal y Humana*. Pirámide. Madrid.
- Hamilton, W.D. 1964. The general theory of social behaviour. *J. Theor. Biol.* 7: 17-52.
- Harris, M. y Ross, E.B. 1987. *Muerte, Sexo y Fecundidad: La Regulación Demográfica en las Sociedades Preindustriales y en Desarrollo*. Alianza Ed., Madrid.
- Hausfater, G. y Hrdy, S. (eds.) 1984. *Infanticide: Comparative and Evolutionary Perspectives*. Aldine Publishing Co. New York.
- Hill, K y Hurtado, A.M. 1996. *Aché Life History: The Ecology and Demography of Foraging People*. Aldine the Gruyter, New York.
- Hrdy, S. 1999. *Mother Nature: A History of Mothers, Infants and Natural Selection*. Pantheon. New York.
- Hughes, A.L. 1988. *Evolution and Human Kinship*. Oxford Univ. Press. Oxford.
- Knighth, C. 2008. Early Human Kinship was Matrilineal. Pp. 61-82. En: Allen, N.J., Callan, H., Dunbar, R y James, W. (eds.). *Early Human Kinship: From Sex to Social Reproduction*. Wiley-Blackwell. Oxford.
- Lee, P.C. 1994. Social structure and evolution. Pp. 266-303. En: Slater, P. y Halliday, T. (eds.) *Behaviour and Evolution*. Cambridge University Press. Cambridge..
- Lévi-Strauss, C. 1969. *Las Estructuras Elementales del Parentesco*. Paidós. Buenos Aires.
- Lévi-Strauss, C. y otros. 1974. *Polémica sobre el Origen y la Universalidad de la Familia*. Anagrama. Barcelona.
- Lewin, R. 1994. *Evolución Humana*. Salvat. Barcelona.
- Lipton, J. E. y Barash, D.P. 2003. *El Mito de la Monogamia. La Fidelidad y la Infidelidad en los Animales y en las Personas*. Siglo XXI. Madrid.
- Lovejoy, C.O. 1981. The origin of man. *Science* 211: 341-350.
- Marlowe, F.W. 2003. The mating system of foragers in the standard cross-cultural sample. *Cross-Cultural Research* 37: 282-306.
- Murdock, G.P. 1967. *Ethnographic Atlas: A Summary*. Univ. Pittsburgh Press. Pittsburgh.
- Murdock, G.P. 1949. *Social Structure*. The MacMillan Company, New York.
- Radcliffe-Brown, A.R. 1982. Introducción. En Radcliffe-Brown A.R. y Forde, D. *Sistemas Africanos de Parentesco y Matrimonio*. Anagrama. Barcelona.
- Sahlins, M. 1982. *Uso y Abuso de la Biología: Una Crítica Antropológica de la Sociobiología*. Siglo XXI. Madrid.
- Scheidel, W. 2008. Monogamy and polygyny in Greece, Rome, and world history. *Princeton/Stanford Working Papers in Classics*. June 2008. pp. 1-17.
- Segalen, M. 1992. *Antropología Histórica de la Familia*. Taurus, Madrid.
- Smuts, B., Cheney, D., Seyfarth, R., Wranghan, R. y Struhsaker, T. (eds). 1987. *Primate Societies*. Univ. Chicago Press, Chicago.
- Soler, M. 2009. *Adaptación del Comportamiento: Comprendiendo al Animal Humano*. Ed. Síntesis-SESBE. Madrid.

- Trivers, R.L. 1971. The evolution of reciprocal altruism. *Q. Rev. Biol.* 46: 35-57.
- Trivers, R.L. 1974. Parent-offspring conflict. *Am. Zool.* 14: 249-264.
- Parkin, R. y Stone, L. (Dir.) 2007. *Antropología del Parentesco y la Familia*. Ed. Universitaria Ramón Areces. Madrid.
- Van Den Berghe, P.L. 1983. *Sistemas de Familia Humana: Una Visión Evolucionista*. F.C.E., México.
- VV.AA. 1998. Ethnographic Atlas Codebook. *World Cultures* 10: 86-136.

Información del Autor

R. Tomás Cardoso ha realizado estudios de Antropología (Social y Física), Sociología y Psicología, interesado por los enfoques bioculturales del comportamiento humano, ha orientado su investigación al análisis de los fenómenos sociales, ecológicos y demográficos en grupos humanos desde una orientación evolucionista y biosocial.

La falsa sonrisa del delfín y nuestras neuronas espejo

Hernán Pérez Ramos

Avda. de la Costa Blanca, 14, buzón 44, Playa San Juan, 03016, Alicante.
E-mail: puchoramos0562@yahoo.es

RESUMEN

Cuando vemos la boca de un delfín es muy difícil no tener la impresión de que está sonriendo a pesar de que sabemos que los delfines no pueden sonreír. Los padrinos y los grandes capos mafiosos son personas con una más que destacada inteligencia social, no obstante, sus sistemas límbicos se hallan hipoactivos. Aunque al parecer contienen en el marco de sus interconexiones con otras neuronas los conocimientos que nos permiten empatizar, entender lo que sienten las otras personas y aprender imitando cualquier comportamiento, las neuronas espejo necesitan de la experiencia previa del individuo para ser capaces de hacer su función. El desarrollo de estos argumentos nos conduce a pensar que es posible que las neuronas espejo no puedan ser consideradas como la fuente de la que emana nuestras inteligencias ecológico-tecnológica y social. *eVOLUCIÓN 7(2): 55-71 (2012).*

Palabras Clave: Neuronas espejo; inteligencia social; inteligencia ecológica; aprendizaje de comportamientos; empatía; emociones; cerebelo; fases del proceso de aprendizaje.

ABSTRACT

When we see the mouth of a dolphin is very hard to avoid art print of that is laugh. The big mob bosses are people with a more than remarkable social intelligence, despite their limbic systems are hypoactive. Although apparently contain as part of its interconnections with other neurons knowledge that allow us to empathize, to understand what other people feel and learn by imitating any behaviour, mirror neurons require previous experience of the individual to be able to function. The development of these arguments leads us to think that it is possible chelae mirror neurons can not be considered the source of our intelligence emanating. *eVOLUCIÓN 7(2): 55-71 (2012).*

Key Words: Mirror neurons; social intelligence; ecological and technological intelligence; learning behaviors; empathy; emotions; cerebellum; phases of the learning processes.

INTRODUCCION

¿Son las neuronas espejo, tal y como se propone, la base de nuestras inteligencias ecológico-tecnológica y social? En el presente artículo ofreceremos al lector una serie de argumentos con los que intentaremos hacerle ver que es posible que las neuronas espejo no sean las estructuras que se encargan de elaborar la información que codifican.

Las neuronas espejo son fuertes candidatos a ser considerados como el fundamento de nuestra inteligencia

El extraordinario descubrimiento de un grupo de neuronas capaces de activarse, tanto cuando el individuo ejecuta una determinada acción como cuando ve que es otro quien lo hace abrió a la ciencia del estudio de nuestra mente un esperanzador universo de nuevos conocimientos basados en sólidos datos empíricos que se han ido obteniendo en los últimos años. La magnitud inconmensurable de la importancia del hallazgo

radica en el hecho de que las características funcionales de estas neuronas nos permiten explicar de forma sencilla y fehaciente diversos aspectos del funcionamiento de nuestro cerebro cuya extraordinaria complejidad hacía pensar que nunca obtendríamos una respuesta definitiva.

Gracias a las neuronas espejo, tal como se nombró a este peculiar conjunto de células nerviosas, podemos inferir como es probable que suceda el proceso mediante el cual aprendemos los diferentes comportamientos que nos permiten explotar el entorno en nuestro beneficio (incluidos los que nos posibilitan construir y usar herramientas) ya que al activarse, tanto cuando vemos una acción destinada a la consecución de un objetivo, como cuando somos nosotros quienes realizamos esos mismos movimientos posibilitan que imitemos cualquier comportamiento, esta capacidad maravillosa se propone como la base de nuestra inteligencia ecológico tecnológica (Gómez 2007).

Por otra parte las neuronas espejo también parecen ser las responsables de hacer que aprendamos los comportamientos destinados a la

interrelación con nuestros semejantes. Se ha descubierto que están conectadas al sistema límbico a través de la ínsula. Dicha interconexión hace posible que cuando observamos una determinada expresión facial en la cara de alguien inmediatamente se disparan las neuronas espejo relacionadas con dicha emoción, acto seguido la señal llega al sistema límbico en donde se genera la sensación correspondiente a la emoción que percibimos en la cara del interlocutor al mismo tiempo que esa emoción que estamos experimentando modifica las facciones de nuestro rostro para que este muestre la misma expresión facial que observamos en la cara de la otra persona. Esta sorprendente cualidad se propone como la base de nuestra inteligencia social (Iacoboni 2009).



Fig. 1. Marco Iacoboni es uno de los referentes universales en lo que respecta al estudio de las neuronas espejo.

En estos momentos hay un destacado número de importantes neurocientíficos entre los que sobresalen Vilayanur Ramachandrán y Michael Gazzaniga que piensan que es probable que las neuronas espejo sean una especie de estructura cognoscitiva ya que su funcionamiento pudiera permitirnos aprender como se construyen y manipulan herramientas o utensilios a través de la observación de lo que vemos hacer y además afirman que las neuronas espejo nos permiten empatizar y entender lo que sienten los otros gracias a que nos dan la posibilidad imitar sus expresiones faciales y gracias también a que nos permiten saber lo que están sintiendo las personas con las que nos relacionamos. En otras palabras, el funcionamiento de las neuronas espejo, entendidas como estructura cognoscitivas, nos ofrece una explicación lógica que nos permite intuir como es que pudiera funcionar nuestra inteligencia ecológico tecnológica y nuestra inteligencia social ya que se supone que estas células nerviosas se encargarían de elaborar los conocimientos que hacen posible que nos

relacionemos fructíferamente con el hábitat y con el entorno social.

A pesar de la abrumadora serie de resultados empíricos que parecen afirmar que las neuronas espejo son a todas luces estructuras cognitivas gracias a las cuales podemos imitar y por ello aprender, trataremos de ofrecer al lector un conjunto de argumentos destinados a explicar que las neuronas espejo, quizás, no debieran ser consideradas estructuras cognitivas y por lo tanto en ningún modo pueden ser la base sobre la que se erigen nuestras inteligencias ecológico-tecnológica y social.

¿Son realmente estructuras cognoscitivas las neuronas espejo? ¿Es su función el permitirnos aprender acciones y comportamientos? ¿Son en verdad parte del sistema que elabora los conocimientos que integran nuestras inteligencias ecológico-tecnológica y social?

El mecanismo neuronas espejo-sistema límbico, la base sobre la que se propone que pudiera erigirse nuestra inteligencia social

Como mencionamos el sistema de neuronas espejo está fuertemente interconectado al sistema límbico (donde se generan las emociones y los sentimientos) a través de la ínsula.

¿Cómo pudiera funcionar esta conexión? Cuando vemos la expresión de una emoción en la cara de un interlocutor nuestras neuronas espejo se disparan y envían el mensaje pertinente al sistema límbico quien se encarga de mandar a generar en nuestro cerebro la imagen somática de la misma emoción que está experimentando la otra persona, acto seguido dicha emoción transforma nuestro rostro de manera que este exprese la misma emoción que estamos percibiendo. El funcionamiento de este importantísimo mecanismo posibilita dos cosas muy importantes.

La primera de ella es empatizar con la otra persona (Iacoboni 2009; Gazzaniga 2007). Si a una persona que está experimentando dolor le expresamos con una emoción que a nosotros nos entristece que ella esté sufriendo, en la mayoría de los casos lograremos que este individuo se sienta cercano a nosotros, que nos vea como un aliado entrañable, como un amigo al que es preciso cuidar y que por tanto esté dispuesto a echarnos una mano cuando necesitemos de él. El disponer de un sistema que reproduce en la cara la emoción que está experimentando otro individuo es una de las grandes invenciones de la selección natural ya que hace posible la unidad entre semejantes, permite que dos primates deseen actuar en común en pos de un único objetivo que pudiera beneficiarlos a los dos o a solo uno de ellos y el sistema funciona porque dos unidos casi siempre pueden más que uno solo. Este es el gran beneficio que reporta la empatía.

La segunda gran importancia de esta conexión entre las neuronas espejo y el sistema límbico es que el hecho de que podamos sentir lo que la otra persona está sintiendo nos permite saber con alguna certeza que es lo que está pasando por la mente del otro como consecuencia de la interacción que vamos sosteniendo con ella. (Iacoboni 2009).

Expliquémoslo: durante cualquier interacción con otro semejante le vamos diciendo cosas que en gran parte están relacionada con las vivencias buenas o malas que hemos compartido juntos y al mismo tiempo la otra persona hace lo mismo para con nosotros. Muchas de las cosas que decimos y la mayoría de las cosas que nos dice el interlocutor genera en él un determinado estado emocional que el individuo siente y a la vez expresa en su cara. Ese estado de ánimo es un reflejo de lo que está sintiendo con relación a los temas de los que se está hablando y por lo tanto, el poder saber lo que siente la otra persona cuando le decimos algo nos permite conocer lo que siente y piensa con respecto a cada tema en específico y ello a su vez es lo que nos da la posibilidad de conocer a esa persona, saber cuales son sus gustos, sus necesidades, sus aversiones, sus esperanzas, quienes son sus amigos y quienes sus enemigos y una inmensa cantidad de información útil que nos permitirá saber exactamente que debemos decir y que no, como debemos actuar según el momento y la ocasión para convertir a esta persona en un aliado dispuestos a ayudarnos y a favorecernos cuando precisemos de él. Este mecanismo hace posible que leamos la mente de las personas con las que nos relacionamos y ello es lo que facilita que las manipulemos en pos de un beneficio mutuo o propio.

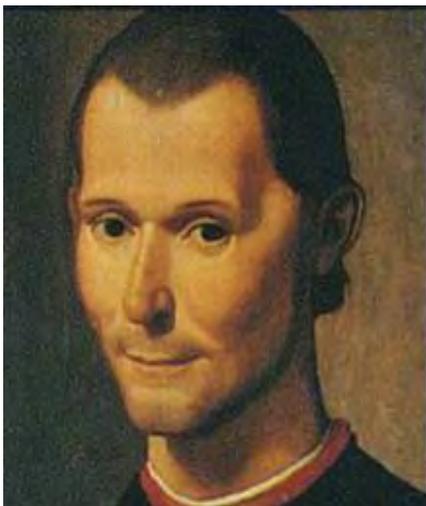


Fig 2. Cuando Nicolas Maquiavelo escribía “*El Príncipe*” no sabía que estaba poniendo las bases sobre la que muchos siglos después se erigiría la ciencia que se dedica al estudio de la inteligencia social.

Todo lo que acabamos de explicar es lo que hace que se proponga el mecanismo integrado por la conexión neuronas espejo-sistema límbico como el artífice, el hacedor de nuestra inteligencia social. Permítanme ilustrar con un ejemplo hipotético de manera que podamos visualizar de forma nítida su funcionamiento.

Le confesamos a un “amigo” que creemos que le gustamos una determinada chica del grupo con el que salimos, acto seguido este nos sonríe amablemente y nos dice: - que bien, me alegro por ti, es una buena chica y te la mereces, seguro que te la mereces.... Tras la sonrisa inicial apenas se dibuja en su rostro una expresión que casi pasa desapercibida. Pero automáticamente se encienden en nuestra corteza las neuronas espejo que codifican este tipo específico de movimiento facial y transmiten de inmediato el mensaje al sistema límbico quien manda a generar en nuestra corteza somática la emoción equivalente a la expresión facial que hemos visto en la cara del “amigo”. ¡No hay dudas, es una emoción de desagrado! Al amigo no le ha hecho nada de gracia el saber que es probable que le gustemos a esa chica. Por ello automáticamente sale disparada de nuestra boca la frase: - Pero jamás se me ocurriría decirle nada porque la chica es muy alta para mí (una mentira que nos acabamos de inventar y que tratamos de expresar con mucha firmeza y convicción). Un instante después se forma una mueca de enfado en la cara del “amigo” (nos lo hace saber nuestra conexión entre las neuronas espejo y el sistema límbico, quien se activa por segunda vez) mientras nos dice: - Tío, que alta ni alta, lo que tienes es que ir a por ella macho, que una oportunidad así no se da todos los días..... Pero descubrimos al final de la frase otro gesto imperceptible que apenas se dibuja en la comisura de sus labios. Nuestras neuronas espejo se encienden por tercera vez y mandan el mensaje al sistema límbico quien reproduce la emoción relativa al último gesto del “amigo”. ¡Es una expresión de satisfacción, exactamente lo que queríamos lograr con la mentira que le acabamos de decir! Gracias a nuestras neuronas espejo sabemos que el “amigo” momentáneamente no nos tomará por un rival a la hora de competir por la chica, lo que indudablemente es una gran ventaja a nuestro favor y además puede que siga siendo nuestro aliado a la hora de ofrecer un frente común contra los chicos de otro grupo al que nos enfrentamos con bastante regularidad. (Si leemos a Fran de Wall descubriremos que entre los chimpancés se producen interacciones muy parecidas a las que acabamos de exponer ya que probablemente nuestros primos, gracias al conocimiento almacenado en sus neuronas espejo, no precisan del lenguaje para ser capaces de entender las intenciones de los otros).

Acabamos de exponer como es posible que trabaje el mecanismo gracias al cual nos

relacionamos de forma satisfactoria con nuestros semejantes, indudablemente parece ser que las neuronas espejo disponen en el marco de sus interconexiones con el sistema límbico del conocimiento que nos permite reconocer emociones y sentimientos pero, ¿son ellas quienes elaboran ese conocimiento? ¿Son las neuronas espejo las estructuras que fabrican el conocimiento de que una determinada expresión facial corresponde a una determinada emoción? A continuación ofreceremos un conjunto de ejemplos que pudieran apuntalar la idea de que es posible que las neuronas espejo no sean las estructuras que confeccionan los conocimientos relacionados con la inteligencia social.

La falsa sonrisa

Tuve la oportunidad de asistir al magnífico congreso que recientemente celebró la Sociedad Española de Biología Evolutiva en Madrid, comentaba el funcionamiento de las neuronas espejo y de pronto alguien objetó: si las neuronas espejo son estructuras que nos permiten entender lo que realmente están sintiendo otros individuos, ¿por qué cuando miramos la cara de un delfín, por ejemplo, creemos y sentimos que está sonriendo cuando en realidad no es así?



Fig. 3. La aparente sonrisa de los delfines pudiera estar indicando que nuestras neuronas espejo no son las estructuras que elaboran el conocimiento que nos dice que una determinada expresión facial corresponde a una emoción en particular.

Ello me dio que pensar y terminé dándome cuenta de que este es un magnífico ejemplo que nos permite entender que las neuronas espejo no pueden ser las estructuras que elaboran el conocimiento de que una determinada expresión facial corresponde a una determinada emoción. ¿Por qué llegamos a dicha conclusión? Pues, porque el conocimiento que nos hacen saber en

este caso nuestras neuronas espejo es falso. Veamos.

¿Qué es lo que podría suceder en nuestro cerebro cuando observamos la cara de un delfín? La forma de la boca del cetáceo (como en apariencia es una cara sonriente) podría activar y de hecho parece que lo hace las neuronas espejo que codifican la sonrisa, estas de inmediato activan a través de la ínsula las neuronas que en el sistema límbico generan la sensación de bienestar y felicidad asociada a la sonrisa, al mismo tiempo que ordenan que los músculos de nuestra cara fabriquen una sonrisa de respuesta y todo ello en conjunto es lo que nos hace pensar y sentir que los delfines se están riendo.

Si las neuronas espejo son en verdad estructuras capaces de confeccionar el conocimiento que nos permite atribuir un determinado estado mental a otro individuo necesariamente en este caso tendrían que ser capaces de informarnos que los delfines no están riéndose. Contrariamente lo que sucede es que nos brindan una información errónea basada en un conocimiento preexistente, lo que hacen es aplicar el conocimiento que codifican (el relacionado a la sonrisa de nuestra especie) a cualquier otro individuo aunque pertenezca a otra especie.

Del mismo modo en muchas expresiones faciales los primates muestran los dientes de manera muy parecida a lo que nos pasa a nosotros cuando sonreímos sin embargo en algunos casos estas expresiones faciales indican agresividad o miedo. A pesar de ellos cuando las vemos, las neuronas espejo que captan dichos movimientos faciales de la boca se encienden y mandan el mensaje al sistema límbico por intermedio de la ínsula, quien reproduce en nosotros la sensación de felicidad y bienestar vinculada a la sonrisa, ello es lo que hace que cuando vemos las expresiones descritas en primates o cuando contemplamos la boca curvada de un delfín tengamos la falsa impresión de que están sonriendo. Si las neuronas espejo fueran en verdad estructuras capaces de elaborar nuevos conocimientos jamás caeríamos en el error de la falsa sonrisa porque nos permitirían entender el verdadero estado anímico del primate, así que la falsa sonrisa parece ser una evidencia de que las neuronas espejo en ningún modo son estructuras capaces de generar nuevos conocimientos por lo que no pueden ser consideradas como partes del mecanismo que genera la inteligencia social. Ello no quiere decir que no sean parte importantísima de nuestra inteligencia social porque, aunque al parecer no lo fabrican, es muy probable que contengan, en el marco de sus interconexiones con el sistema límbico, el importantísimo conocimiento que nos permite empatizar y comprender que es lo que sienten las personas con las que nos relacionamos.

Veamos ahora otro ejemplo que nos lleva a suponer que es probable que las neuronas espejo

no sean las estructuras que se encargan de confeccionar los conocimientos relativos a nuestra inteligencia social.

El nacimiento de las neuronas espejo

El conocimiento que entraña la sonrisa de nuestra madre

Del mismo modo que es muy importante que seamos capaces de interpretar lo que significa una cara de miedo en el rostro de un conocido, porque pudiera tratarse de algo que también nos podría afectar a nosotros, también es relevante el que podamos saber que la cara sonriente de nuestra madre significa que todo está bien y no hay de que preocuparse. Como surge este conocimiento.

“El bebé sonríe y el progenitor sonríe en respuesta. Dos minutos después el bebé vuelve a sonreír y el progenitor vuelve a responder con una sonrisa.



Fig. 4. La interrelación con nuestra madre nos permitirá elaborar nuestros primeros conocimientos, quienes se codificarán en las neuronas espejo.

Gracias al comportamiento imitativo de los padres el cerebro del bebé asocia el plan motor necesario para sonreír con la visión del rostro sonriente del progenitor.

Por lo tanto, presto, nacen las neuronas espejo correspondientes al rostro sonriente. La próxima vez que el bebé vea a alguien que le sonríe las neuronas espejo implicadas harán que se dispare el plan motor que permite al bebé sonreír”. (Iacoboni 2009).

Veamos con detalle cual es el nuevo conocimiento que se ha formado en la mente del bebé.

El bebé observa una determinada modificación (la sonrisa) en la cara de la madre una determinada estructura, que no son las neuronas espejo según Iacoboni, genera la asociación entre

la imagen de la cara de la madre y el programa motor (innato) de la sonrisa.

Esa asociación se plasma en un grupo determinado de neuronas espejo que de inmediato se activan. Al existir una fuerte interconexión entre la imagen propioceptiva que genera la modificación facial de la sonrisa y la imagen de la sensación de bienestar y felicidad propias de cuando nos reímos se interconectan ambas al grupo de neuronas espejo que se están disparando. Y como estas últimas también pudieran estar interconectadas a las neuronas del sistema límbico donde se genera esta emoción, se interconectan también a las neuronas espejo que se están disparando las neuronas del sistema límbico que mandan a producir la sonrisa. En resumen, esta concatenación de conexiones neuronales es la que le permitiría al bebé saber (gracias a la sensación de bienestar y felicidad inherentes a su propia risa) que cuando ve la cara sonriente de su mamá todo marcha bien y no hay de que preocuparse de nada.

Quisiera destacar el hecho de que para Iacoboni no son las neuronas espejo las que confeccionan la información principal a partir de la cual se estructura todo este andamiaje de interconexiones descrito. Para el destacado científico es otra parte del cerebro quien realiza la asociación entre la cara de la madre y el programa motor que genera la sonrisa. Es decir, es otra parte del cerebro la que confecciona el conocimiento que le hará saber al bebé lo que quiere decir una sonrisa en la cara de su madre.

El chimpancé y la serpiente

De la misma manera parece suceder con la información contraria. En un célebre experimento se le presenta a un bebé chimpancé la imagen de una serpiente sin que el neonato se asustara. En una segunda fase se le presenta una imagen de la serpiente acompañada de otra con la cara de un chimpancé asustado. En este segundo momento sí se produce en el bebé chimpancé la modificación facial correspondiente a la sensación de miedo (Carter 1998).

Ello quiere decir que cuando se le presenta la cara del semejante asustado conjuntamente con la imagen de la serpiente, alguna estructura de su cerebro (que no son las neuronas espejo) asocia la imagen de la serpiente con la cara de susto del otro chimpancé. Acto seguido esta asociación (las neuronas espejo en las que se plasma dicho conocimiento) se interconecta por medio de las neuronas de la ínsula con las neuronas del programa “Miedo-Huida” de la amígdala quienes se activan para generar la sensación de miedo que experimenta el pequeño póngido. A partir de ese instante existe en el marco de la interconexión descrita el conocimiento de que si se observa una cara de susto, algo malo está sucediendo. En este segundo caso tampoco son las neuronas espejo

quienes confeccionan el conocimiento (la unión entre la imagen del otro chimpancé asustado y el programa motor que genera la expresión facial de la sensación de miedo) sino que es otra estructura del cerebro quien fabrica ese conocimiento que se “escribe” en el marco de una red de interconexiones que posiblemente tienen como vértice un grupo de neuronas espejo. Así que podemos entender que para Marco Iacoboni las neuronas espejo, aunque contienen el conocimiento relativo a nuestra inteligencia social, probablemente no son las estructuras que lo fabrican.



Fig. 5. Los bebés chimpancés no se asustan al ver una serpiente hasta que no ven otro semejante asustado.

La relación entre el sistema de neuronas espejo y el autismo

Se ha comprobado en un gran número de estudios que en las personas con autismo muchas de las neuronas espejo que deberían encenderse cuando el individuo observa emociones en el rostro de otra persona, no lo hacen y ello podría ser la causa de su pobre inteligencia social.

En otras palabras, se propone que debido a que los autistas pudieran contar con menos neuronas espejos de las que normalmente se dispone, siendo dichas células nerviosas las estructuras encargadas de confeccionar los conocimientos relativos a la inteligencia social, sería natural inferir que la falta de las mismas podría acarrear el acuciante déficit de inteligencia social característico del autismo.



Fig. 6. El autismo no puede ser causado por un déficit de neuronas espejo.

Pero teniendo en cuenta el hecho de que todo parece indicar que las neuronas espejo, para ser capaces de funcionar como tal, primero es preciso que maduren, Iacoboni propone que también es posible que el autismo pudiera deberse a que dichas células no maduren ni se desarrollen de manera conveniente.

“La imitación recíproca durante la infancia permite que el bebé establezca una asociación entre sus movimientos y los movimientos de las personas que los imitan. Los niños que posteriormente desarrollan autismo tienden a no mirar a la madre o al cuidador y por lo tanto no pueden establecer asociación entre sus movimientos y los de las personas que los imitan y como consecuencia de ello sus neuronas espejo no se forman o refuerzan como debieran” (Iacoboni 2009).

Para el destacado especialista la capacidad de imitar depende de que el cerebro sea capaz de orientar las percepciones visuales, ello es lo que permitiría un adecuado desarrollo de las neuronas espejo. Esto quiere decir que el conocimiento que nos permite saber a donde es importante que miremos no lo fabrican las neuronas espejo sino que dicho conocimiento debe ser confeccionado por otra parte del cerebro para que las neuronas espejo, luego, puedan hacer su trabajo de forma conveniente. Así que el autismo pudiera estar provocado, no por un déficit de neuronas espejo, sino por que el cerebro de los autistas es incapaz de confeccionar adecuadamente el conocimiento que indica al individuo que es importante mirar el rostro de otras personas. De todo lo expuesto lo que queda claro es el reconocimiento tácito que hace Iacoboni de que las neuronas espejo no son estructuras capaces de fabricar conocimientos sociales y por lo tanto la causa del autismo en ningún modo podría ser un déficit de las mismas.

La confección de la información inherente a la inteligencia social pudiera no estar relacionada con el mecanismo basado en las neuronas espejo

Recordemos que se propone que el mecanismo que genera nuestra inteligencia social es el siguiente.

Las neuronas espejo, en especial las del área de broca derecha, codifican las secuencias motrices de los movimientos faciales que provocan las emociones en nuestros interlocutores. Estas se conectan a través de la ínsula con el sistema límbico, en especial con la amígdala, y esta interconexión es lo que permite que cuando vemos una determinada emoción facial vinculada a una emoción en la cara de un interlocutor nuestras neuronas espejo se activen, manden un impulso al sistema límbico donde se genera la misma emoción que está sintiendo el interlocutor. Ello a su vez nos permite empatizar con él cuando exteriorizamos esa misma emoción y al mismo tiempo sabemos que es lo que está sintiendo como consecuencia de la interrelación que sostenemos con él (Gazzaniga 2007; Iacoboni 2009).

En resumen, los más prestigiosos científicos de este campo proponen que nuestra inteligencia social se fundamentaría en la posibilidad de generar en nuestro sistema límbico las emociones que están experimentando los otros, es decir, que depende primordialmente del correcto funcionamiento de nuestro sistema límbico.

Los psicópatas

La personalidad psicopática se caracteriza por su más absoluta falta de remordimiento lo que se ha descubierto que pudiera estar relacionado con la hipoactividad de todo su sistema límbico y de la amígdala en particular. Los psicópatas son capaces de mentir, robar, estafar, extorsionar, maltratar, golpear, herir, torturar e incluso matar a otras personas sin experimentar la menor sombra de arrepentimiento, vergüenza, preocupación, pena o remordimiento.

Diversos estudios realizados con escáner han demostrado que estas personas tienen el sistema límbico hipoactivo, sus amígdalas se hallan alestargadas e imbuidas de un extremo sopor que hace que apenas se disparen cuando cometen crímenes atroces. Ello es lo que nos hace suponer que la falta de las emociones relacionadas con el arrepentimiento y la culpabilidad podrían deberse a la poca actividad detectada en sus sistemas límbicos (Carter 1998).

Acabamos de concluir que el mecanismo que se propone como fuente de nuestra inteligencia social está indisolublemente ligado al correcto funcionamiento del sistema límbico de aquí que sea lógico pensar que los psicópatas, al poseer un sistema límbico poco o nada activo, su

inteligencia social necesariamente tendría que estar muy mermada. ¿Ello es realmente así?



Fig. 7. Los psicópatas mutilan, torturan y asesinan a otras personas sin experimentar la menor sombra de remordimiento, ello probablemente se debe a que tienen sus sistemas límbicos, incluida la amígdala, hipoactivos.

Los estafadores

Los grandes estafadores basan su éxito a la hora de adueñarse de todo lo que tienen sus víctimas en su capacidad para meterse en sus mentes de manera de conocerlas a fondo. Ello les facilita decir lo que la otra persona quiere oír, hacer las cosas que la otra persona quiere y pretende que se hagan y transmitir la emoción o el sentimiento que el interlocutor desea percibir. Así logran convertirse en alguien indispensable, en la persona en la que más confían, en el amigo del alma por quien se pueden poner las manos en el fuego hasta que dan el golpe de gracia y despluman sin el menor remordimiento a sus presas. Estos individuos con gran discapacidad para experimentar remordimiento, culpabilidad y arrepentimiento (predeciblemente por que sus sistemas límbicos se hallan hipoactivos) basan su éxito en la portentosa y subyugante inteligencia social de la que disfrutan. En el filme “Los impostores” de Ritley Scott podemos encontrar una imagen bastante realista de cómo la espectacular inteligencia social que tienen los grandes estafadores es lo que les permite tener éxito a la hora de engañar a sus víctimas.

Los jefes de los campos de concentración

De más está decir que los nazis de las SS que estaban al frente de los campos de concentración durante la segunda guerra mundial eran psicópatas. Sin embargo lo que permitió a estos

individuos evitar ir a luchar al frente y en cambio poder escalar progresivamente en el organigrama del partido nazi y en el de las SS fue su extraordinaria inteligencia social. Para dejar de ser un simple soldado de fila y convertirse en un jefe de un campo de concentración es preciso disponer de una gran inteligencia social que te permita (por las buenas y/o por las malas) ir convirtiendo a los individuos con los que te tropiezas en subordinados tuyos. Ello es otro ejemplo de que el grado máximo de inteligencia social puede estar presente en personas con sus sistemas límbicos hipoactivos.

Uno de los nuestros

En esta extraordinaria película de Martin Scorsese, basada en una historia real, el personaje que interpreta Ray Liotta expresa en el momento en el que es detenido:

“...el ruido y las voces me permitieron saber que era la policía ya que si habrían sido los nuestros (los gangster) simplemente estaría muerto porque a los nuestros nunca se les ve llegar.” Y más adelante continúa: “...cuando alguien de mi mundo va a matar a otro no hay broncas ni peleas, ni siquiera la menor discusión, todo lo contrario, llegan como el mejor amigo que está dispuesto a hacer lo que sea necesario por ti, te abrasan, te reconfortan, te infunden tanto cariño, seguridad y confianza que logran que desaparezcan todas tus preocupaciones y miedos, entonces, cuando bajas la guardia porque te sientes seguro y confiado, te eliminan...” “... Había visto como poco a poco habían matado a todos mis amigos y a casi todos los mejores amigos suyos y sin embargo, debido a la confianza y el aprecio que me transmitían, aún me costaba creer que me iban a matar a mi.”

(Este personaje está basado en los testimonios reales de Henry Hill (el personaje que interpreta Ray Liotta) que sirvieron para incriminar a Paul Cicero y a varios integrantes de esta importante familia mafiosa).

El aprecio, la confianza, el cariño y la seguridad que transmitían los grandes jefes de este clan a sus subordinados no era real, de hecho, cuando se vieron en peligro comenzaron a deshacerse sin escrúpulos de todo aquel que podría implicarlos ante la ley en los delitos que habían cometido. El ser capaces de hacer que sus víctimas se sintiesen seguras, queridas y protegidas poco antes de eliminarlas demuestra que estos individuos (personas con sus sistemas límbicos en gran medida aletargados) disfrutaban de una impresionante inteligencia social. Todos los psicólogos coinciden en que lo que lo que le permite a un simple matón de calle ir paulatinamente escalando posiciones en el organigrama del clan al que pertenece hasta llegar a convertirse en un gran capo de la mafia es su descomunal capacidad para la inteligencia social,

pero al mismo tiempo estas personas no sienten el menor remordimiento, ni la mínima culpabilidad cuando ordenan o son ellos mismos los que roban, extorsionan, torturan o acecinan porque sus sistemas límbicos se hallan hipoactivos.



Fig. 8. Los grandes capos mafiosos son psicópatas que hacen gala de una espectacular inteligencia social, ello nos indica que el mecanismo neuronas espejo-sistema límbico no puede ser la base de nuestra inteligencia social.

Estos ejemplos que acabamos de exponer ponen en entredicho el que pueda considerarse al mecanismo basado en el vínculo entre las neuronas espejo y el sistema límbico como un sistema capaz de generar nuevos conocimientos y por ende como el fundamento de la inteligencia social porque se observa claramente que el máximo grado de inteligencia social puede existir en personas en las que el propuesto mecanismo empático no funciona correctamente como resultado de que sus sistemas límbicos se hallan hipoactivos.

La inteligencia ecológico-tecnológica. El aprendizaje de comportamientos en primates

La paradoja de las neuronas espejo

El hecho de que las neuronas espejo de los primates se activen, tanto cuando el individuo ejecuta una determinada acción, como cuando es otro quien lleva a cabo esa misma actividad unifica en el marco de un mismo mecanismo la percepción visual de un determinado comportamiento con la experiencia propioceptiva (la sensación de nuestro cuerpo en movimiento durante la acción) que nos provoca la ejecución de ese comportamiento. Dicha unicidad se propone como la base del mecanismo que nos permite imitar acciones y comportamientos, de aquí que no se entienda porque, excepto nosotros, ningún otro primate es capaz de realizar verdaderas imitaciones cuando a todas luces parece ser que cuentan con el mecanismo

necesario para hacerlo (un sistema de neuronas espejo probablemente muy similar al nuestro).

Por ejemplo en Guinea y en Costa de Marfil se han descubierto grupos de chimpancés que utilizan piedras para cascar nueces, pero se ha descrito que los individuos necesitan varios años de práctica para alcanzar la máxima destreza en la actividad. Los chimpancés que cazan termitas en Gombe (Tanzania) necesitan cinco años de práctica para ser capaces de pescar termitas con eficiencia. De igual manera todos los experimentos realizados con primates revelan que el proceso de aprendizaje es una mezcla de aprendizaje social (transmisión del comportamiento) y de un largo aprendizaje personal en el que el individuo parece intentarlo incesantemente una y otra vez rectificando en cada nuevo intento los errores que cometió en el intento anterior (Gomez 2007).

Lo que desconcierta al mundo científico es el hecho de que poseyendo los primates el sistema que unifica las imágenes visuales y las propioceptivas con el programa motor (las neuronas espejo) no logren imitar un comportamiento a la primera. ¿Por qué a pesar de poseer el mecanismo que en teoría deberían permitir a los primates realizar verdaderas imitaciones el aprendizaje en primates requiere de un largo y repetitivo proceso de entrenamiento?

El cerebelo, parte importante del proceso de aprendizaje de secuencias motrices

Al parecer las neuronas espejo no son la única estructura que interviene durante el aprendizaje de comportamientos, ni la unión, en una neurona espejo, de las imágenes visuales y propioceptivas del comportamiento con el programa motor del mismo es lo único que sucede. El proceso de aprendizaje es en esencia la grabación y perfeccionamiento de las secuencias de movimientos que lo componen y por ello una parte muy importante del mismo pudiera ocurrir en el cerebelo.

Existe una importantísima conexión en bucle entre el cerebelo, la corteza somática (propioceptiva), las cortezas motoras, la corteza visual y la auditiva. Durante el proceso de aprendizaje de comportamientos las informaciones recorren incesantemente, una y otra vez, dicho circuito en bucle. Ello al parecer permite al cerebelo ir paulatinamente ajustando y calibrando, mediante la inhibición a largo plazo de las células de purkinje, el instante preciso en el que debe suceder la contracción o inhibición de los músculos agonistas y antagonistas que intervienen en cada una de las acciones de manera que los movimientos lleguen a ser ejecutados con la velocidad, la fuerza y en la dirección correcta y que todas las secuencias de movimientos que integran el comportamiento fluyan de la forma requerida. Esta información queda almacenada

(memorizada) de manera que cuando el individuo ejecuta cualquier procedimiento debidamente calibrado la ejecución del mismo es la idónea (Rubia 2006; Puerto Mediavilla 1996; Delgado 2001).

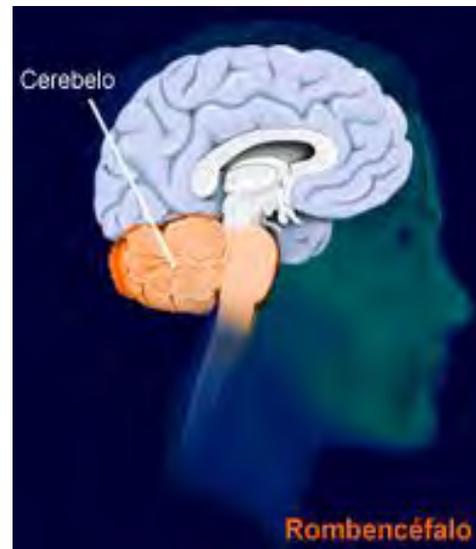


Fig. 10. El cerebelo predicablemente se ocupa de la segunda fase del proceso de aprendizaje de las secuencias motrices que componen los comportamientos.

Fases del proceso de aprendizaje

Todo parece indicar que durante el proceso de aprendizaje de comportamientos intervienen dos mecanismos totalmente distintos, el uno es el sistema de neuronas espejo (codifica la secuencia de movimientos) y el otro es el encabezado por el cerebelo (calibra la secuencia de movimientos), ello nos conduce a suponer que pudiera ser que el proceso de aprendizaje de comportamientos podría estar dividido en dos fases distintas si se diera el caso de que uno de los dos mecanismos pudiera funcionar con independencia de que el otro haga o no su parte. ¿Funcionan los mecanismos de aprendizaje de forma independiente el uno del otro?

Al parecer las neuronas espejo pueden codificar un movimiento sin que el individuo halla intentado aprenderlo.

Pier F. Ferrari se hallaba trabajando con macacos que habían participado en muchos otros experimentos con anterioridad, probablemente algunos de ellos, desde muy temprana edad, se habían ido familiarizando con muchos de los estudios que se realizaban y con los procedimientos empleados durante los experimentos. Hasta el instante que intentamos describir jamás, en 10 años de investigación con neuronas espejo, se había podido detectar que estas células se activaran cuando el individuo observaba a un investigador usando una herramienta para manipular una pieza de fruta, de aquí que los

científicos se quedaron anonadados y estupefactos cuando se descubrió actividad en una neurona espejo en el instante en el que un macaco observaba a un investigador cogiendo una uva con unas pinzas. Después se comprobó que dichas neuronas espejo reaccionaban al uso de las pinzas y al uso de una vara con la que también se manipulaba la fruta (Iacoboni 2009).

Lo que es importante de este extraordinario suceso, para lo que queremos explicar, es el hecho de que quedó demostrado que las neuronas espejo de los macacos (quienes no usan herramientas) son capaces de codificar el uso de las mismas. Lo que quiere decir que estas células nerviosas habían codificado la secuencia de movimientos que son necesarios para agarrar una uva usando unas pinzas sin necesidad del que el individuo tratase de aprender a hacerlo. (Los macacos en ningún momento intentaron aprender a usar las pinzas para coger la fruta).



Fig. 11. La observación interesada y persistente de un comportamiento probablemente permite a que este se codifique en las neuronas espejo de los jóvenes chimpancés.

Tengamos en cuenta que la activación de la neurona espejo que codifica un determinado movimiento generan actividad eléctrica en los músculos que intervienen en ese movimiento específico aunque el individuo esté completamente quieto. Así que cuando una neurona espejo ha codificado un comportamiento que ha visto realizar a otro individuo lo que probablemente ha sucedido es que en ella también se ha codificado (también existe) el plan motor que permitirá ejecutar ese particular comportamiento (Iacoboni 2009).

De todo ello podemos extraer la conclusión de que no es preciso que el individuo intente aprender una determinada secuencia de movimientos para que dicho plan motor pueda quedar registrado en sus neuronas espejo. Ya que solo con la visión de los científicos usando las herramientas para coger las frutas bastó para que las neuronas espejo de los macacos pudieran codificar las secuencias motrices inherentes al empleo de estos utensilios. En otras palabras, estas neuronas espejo unificaron la imagen visual del científico cogiendo la fruta con el programa motor que permitiría al macaco coger la fruta con la herramienta.

¿Por qué es probable que con solo la visión del científico cogiendo la fruta con la pinza pudiera grabarse en las neuronas espejo del macaco dicho programa motriz?

Para un macaco la posibilidad de recibir un alimento hace que su cerebro se bañe en dopamina, serotonina y de otro neurotransmisores que facilitan el aprendizaje y la memoria, por ello es predecible que la observación continuada durante un largo periodo de tiempo del procedimiento de coger la fruta con una pinza (una fruta que podría ser para ellos) se grabara en algunas de sus neuronas espejo.

Acabamos de ver que solo con la observación se produce la codificación de un determinado comportamiento sin necesidad de que el cerebelo intervenga para perfeccionar la secuencia motriz codificada. Así que me atrevería a intuir que el proceso de aprendizaje de comportamientos pudiera estar compuesto de dos fases bien separadas la una de la otra ya que la primera puede suceder con independencia de que ocurra o no la segunda. Tendríamos una primera fase de aprendizaje social en la que solo con la observación continuada y persistente de un comportamiento de gran interés (relacionado con la posibilidad de obtener alimentos) las neuronas espejo serían capaces de codificarlo. Y una segunda fase que puede o no suceder en la que la estructura que interviene es el cerebelo y en donde se van calibrando durante un largo período de aprendizaje personal las diferentes secuencias de movimientos que integran el comportamiento hasta que estas llegan a ser las óptimas.

Ejemplos de que el proceso de aprendizaje pudiera componerse de dos fases

En 1974 Geza Teleki intentó aprender a pescar termitas imitando un chimpancé y lo que descubrió fue que en ningún modo pudo hacerlo a la primera, pasaron semanas hasta que descubrió donde había que buscar para encontrar termitas, tuvo que emplear otro prolongado período de tiempo hasta que descubrió el tamaño y el grosor ideal de la ramita y le llevó un tercer período de tiempo aún más prolongado en el que fue poco a poco, mediante el método de ensayo error,

calibrando los movimientos necesarios para introducir de forma óptima la ramita y regulando los movimientos imprescindibles para extraerla sin que rozara los bordes del laberinto de manera que las termitas no se cayeran de la ramita (Gomes 2007).

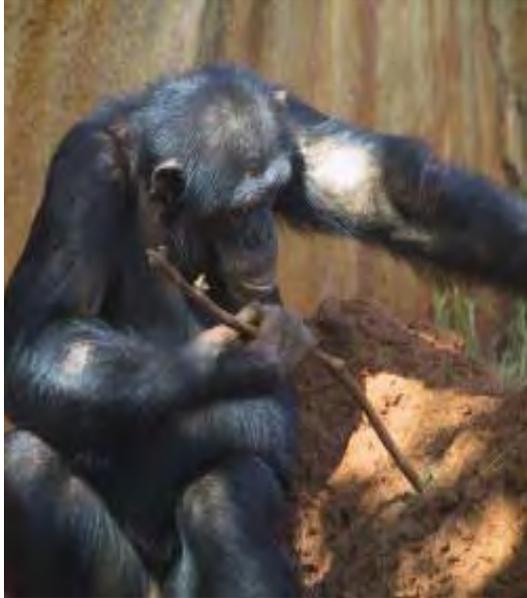


Fig. 12. En los primates el proceso de aprendizaje de comportamientos también incluye una prolongada fase de aprendizaje personal durante la cual el cerebelo ajusta y calibra las diferentes secuencias motrices que componen dicho comportamiento.

He querido poner este ejemplo para ilustrar que es muy probable que el proceso de aprendizaje en nuestro cerebro también, como explica Rubia (2006) sigue dos fases bien delimitadas, una primera en la que gracias a la observación interesada y persistente se codifican en las neuronas espejo las secuencias motrices del comportamiento y una segunda fase en la que el cerebelo va paulatinamente calibrando cada secuencia de movimientos gracias a la inhibición a largo plazo de las células de Purkinje.

Ilustremos ahora con un ejemplo muy generalizado: desde el instante en el que un niño es capaz de trazar lenta y zigzagueante su primera letra a (sus neuronas espejo ya han codificado los movimientos que le permiten completar el trazo) hasta que logra con un movimiento único, limpio y terso escribirla correctamente pueden pasar algunas semanas de extenuantes sesiones de caligrafía durante las cuales su cerebelo probablemente va ajustando y calibrando los movimientos en función de que la acción pueda ser realizada de forma perfecta. Una vez que se logra la perfección en el trazo parece ser que la secuencia de movimientos que intervienen se almacena de manera que no se hace necesario volver a calibrarla nunca más.



Fig. 13. En nuestro caso el proceso de aprendizaje de comportamientos también incluye una prolongada fase de calibración de las secuencias motrices.

Ahora expongamos un ejemplo menos amplio: es muy fácil comprobar que para nosotros el proceso de aprendizaje se compone de dos fases bien delimitadas; intente usted aprender los pasos básicos de la salsa. Verá que los tres pasos hacia delante y los tres pasos hacia atrás los codifica (memoriza la secuencia de pasos) casi a la primera pero luego, poder ejecutar correctamente esos seis pasos en el marco de los ocho compases de la música puede llevarle semanas (dos clases de una hora por semana) de repetición incesante bajo la atenta mirada del profesor que constantemente rectifica y orienta para ayudarlo. Es tan difícil y complejo el proceso de calibración de estas simples secuencias motrices que muchas personas desisten creyéndose por completo incapaces de lograr hacerlo convenientemente algún día.

La verdadera paradoja de las neuronas espejo

Visto lo analizado hasta aquí, la pregunta correcta para resolver la paradoja de las neuronas espejo no es: ¿por qué los chimpancés a pesar de contar con un sistema de neuronas espejo como el nuestro no son capaces de realizar una imitación a la primera?, sino: ¿por qué parece que nosotros somos capaces de hacer imitaciones a la primera cuando en realidad es muy probable que no sea así?

Mi idea acerca de esto es que cada vez que imitamos algo o a alguien es muy posible que las secuencias motoras que empleamos para copiar el comportamiento hayan sido calibradas con anterioridad (ya el cerebelo ha hecho su parte del trabajo) en el marco del aprendizaje de otro comportamiento, por ello cuando aprendemos

una nueva manera de hacer algo es posible que solo ocurra la fase en la que la secuencia motriz de ese nuevo comportamiento se graba en nuestras neuronas espejo (la fase de codificación) gracias a la observación interesada y esto es probablemente lo que da la impresión de que aprendemos a la primera y sin previo entrenamiento. El hecho de que desde nuestra más temprana infancia nuestro cerebelo va calibrando cientos y cientos de secuencias motrices que componen comportamientos muy simples como pudiera ser el que nos permite agarrar un lápiz de color y embellecer una de las paredes del salón de la vivienda familiar, después nos va a permitir imitar a la primera comportamientos de mayor complejidad como pudiera ser el que hace posible repintar con una brocha la pared en la que, en este caso nuestro hijo, acababa hacer evidente su predisposición para las bellas artes. Es que las secuencias motrices que utiliza un niño para pintar en una pared con un lápiz son muy parecidas a las que se utilizan para repintar la pared con una brocha, así que es predecible que esas secuencias sean calibradas por el cerebelo de los niños con inclinaciones artísticas y gracias a que estas secuencias motrices ya existen debidamente calibradas en su cerebro, estas mismas personas van a ser capaces de imitar (a la primera) el trabajo de un pintor cuando les toca ser quienes sufren en sus propias carnes las consecuencias de las inquietudes artísticas de sus hijos.

De hecho cuando los chimpancés han tenido contacto previo con los utensilios y artefactos del experimento al que se les someterá (cuando sus cerebelos han tenido la oportunidad de calibrar las secuencias motrices que les permiten manipularlos de forma conveniente) son capaces de realizar “imitaciones a la primera” igual que nosotros.

Concluyendo, a pesar de esta falsa apariencia, suponer que nosotros somos capaces de ejecutar imitaciones a la primera probablemente es solo una impresión errónea porque cuando se trata de aprender un comportamiento para el que no contamos con una secuencia motriz debidamente calibrada por el cerebelo (como sucede cuando escribimos nuestra primera letra a o cuando intentamos aprender los pasos básicos de la salsa) necesariamente tendremos que dedicar un importantísimo período de tiempo a repetir (en el marco del aprendizaje personal) incesantemente el comportamiento hasta que logremos ejecutarlo de forma correcta, tal y como le sucede al resto de los primates.

Según lo expuesto podemos estar de acuerdo con la idea de que es muy probable que las neuronas espejo son las estructuras que se encargan de codificar (unificar) la secuencia motriz con la imagen visual, con la imagen auditiva y con la imagen propioceptiva de la acción protagonizada por esa misma secuencia

motriz, así que podríamos considerarlas como la base sobre la que se fundamenta nuestra inteligencia ecológico-tecnológica.



Fig. 14. Los pioneros experimentos de Kohler demostraron que cuando los chimpancés contaban con secuencias de movimientos debidamente calibradas eran capaces de resolver problemas a la primera.

¿Son las neuronas espejo las estructuras que elaboran el conocimiento necesario para codificar un determinado comportamiento?

Cuando no se puede aprender a cazar termitas

Jane Goodal descubrió que las habilidades necesarias para cazar termitas se habían desarrollado completamente cuando los chimpancés tenían alrededor de cuatro años y medio, también describió que el proceso de aprendizaje se componía de dos partes muy importantes. En la primera de ellas (la fase de aprendizaje social) gracias a la pertinaz observación de lo que hacía la madre para extraer las termitas el pequeño predeciblemente codificaba en sus neuronas espejo las secuencias de movimientos necesarios para ejecutar el comportamiento (primero se hace esto, después aquello, después esto otro y terminamos haciendo eso). En la segunda fase (la fase de aprendizaje personal) el individuo intenta primero una y otra vez la selección de la rama idónea y seguidamente va calibrando (posiblemente todo esto es responsabilidad del cerebelo) por el procedimiento de ensayo error las secuencias motrices que emplea para introducir correctamente la ramita en el agujero y para sacarla rebosante de apetitosas termitas. Goodal dejó reflejado que solo uno de los jóvenes chimpancés no fue capaz de aprender la ciencia de como cazar termitas, se trataba de un huérfano que no tuvo la oportunidad de ver a su madre realizando la tarea (Gomez 2007). A partir de este

importantísimo descubrimiento podemos extraer dos ideas muy importantes, la primera de ella es que la observación del procedimiento es imprescindible para que el individuo pueda ser capaz de aprenderlo, la segunda enseñanza es que la capacidad que permite aprender mediante la observación (codificar en una neurona espejo) una determinada secuencia de movimientos al parecer no está disponible durante toda la vida del chimpancé.

Este descubrimiento hace que pensemos que es probable que la posibilidad de unificar la secuencia de imágenes visuales y auditivas (las que corresponden a un comportamiento que hemos visto ejecutar a otro individuo, el modelo) con las secuencias de movimientos que integran el programa motor que permite ejecutar dicho comportamiento no existe durante toda la vida del individuo, sin embargo sus neuronas espejo, las nuestras y las de los macacos funcionan siempre, lo cual es realmente desconcertante.

Pensemos, teniendo en cuenta el hecho de que las neuronas espejo funcionan durante toda la vida de los chimpancés, si son estas estructuras las encargadas de fabricar el conocimiento que nos permite aprender un determinado comportamiento (la unión entre las imágenes visuales y el programa motor) no es lógico que a partir de cierto momento los chimpancés dejen de ser capaces de codificar una nueva secuencia motriz. Si es cierto que las neuronas espejo son quienes se encargan de codificar el nuevo comportamiento, el hecho que funcionen durante toda la vida haría posible que la posibilidad de aprender un nuevo comportamiento esté disponible siempre, pero la observación de campo mencionada parece decirnos que ello no sucede así. Concluyendo: el hecho de que la posibilidad de aprender un nuevo comportamiento probablemente no esté disponible durante toda la vida de un chimpancé es una de las razones por las que nos atrevemos a intuir que es posible que las neuronas espejo no puedan ser las responsables de la elaboración del conocimiento (la unión entre la secuencia de imágenes del modelo y el plan motor) que nos permite aprender un nuevo comportamiento.

A continuación intentaremos ofrecer otros ejemplos relacionados con la inteligencia ecológica tecnológica destinados también a ilustrar la idea de que es posible que las neuronas espejo no sean las estructuras responsables de fabricar el conocimiento que codifican.

Las neuronas espejo de los macacos, contra todo pronóstico, codifican el uso de herramientas

Como acabamos de explicar estábamos absolutamente convencidos de que las neuronas espejo de los monos no eran capaces de codificar el uso de herramientas por dos razones de gran peso, la primera de ella es que en diez años de

investigaciones con neuronas espejo no se había detectado la menor evidencia de ello y la segunda razón es el sentido común, si las neuronas espejo son las estructuras cognitivas que nos permiten imitar comportamientos, ¿para qué la selección natural va a poner en el cerebro de un macaco neuronas espejo capaces de codificar el uso de herramientas cuando el individuo jamás las utilizará porque esta especie no emplea herramientas? Sin embargo:

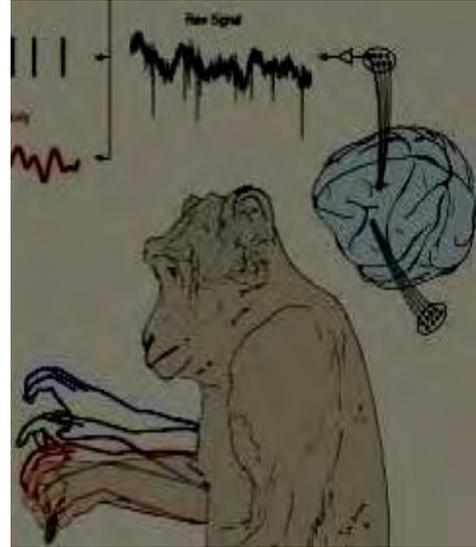


Fig. 15. Las neuronas espejo de los macacos son capaces de codificar el comportamiento que permite usar herramientas sin que el individuo intente aprenderlo.

“Las neuronas espejo que respondieron al uso de herramientas también respondieron a los movimientos realizados con la mano y con la boca, pero con mucha más debilidad. Esta es la primera prueba de que hay neuronas espejo que prefieren acciones que no se encuentran en el repertorio motor del animal observador.” (Iacoboni 2009).

¿Tiene sentido el que la selección natural ponga en un individuo una estructura cognitiva capaz de desarrollar primordialmente conocimientos relativos al uso de herramientas cuando la especie (macacos) no las utiliza?

Claro está que no tiene ningún sentido. De aquí que estemos por entero de acuerdo con Iacoboni cuando sugiere que esto podría deberse a que las neuronas espejo pueden adquirir nuevas propiedades, es decir, que podían ser moldeadas por la experiencia, pero esta afirmación pone en entredicho la idea de que las neuronas espejo son estructuras capaces de confeccionar nuestros conocimientos ecológico-tecnológicos. Veamos.

Lo que se ha venido proponiendo es que las neuronas espejo pudieran ser un tipo especial de células nerviosas que la selección natural diseñó con el objetivo de permitir a los primates aprender (observando) los comportamientos de otros individuos. Ellas, en teoría, serían quienes

se encargan de transformar las vivencias de los individuos (por ejemplo, ver a un semejante cogiendo con sus dedos una termita y llevándosela a la boca) en dos conocimientos prácticos (el conocimiento de que lo que está haciendo el otro individuo es alimentándose y el conocimiento de como se debe coger una termita para poder comerla) ya que las neuronas espejo se proponen como el nexo entre la acción observada y la copia de la misma que realizamos nosotros. Pero lo que parece decirnos el descubrimiento de Ferrary es exactamente lo contrario debido a que, si es verdad que las neuronas espejo nos permiten comprender lo que están haciendo los otros, necesariamente desde un primer momento tendrían que haber codificado el empleo de herramientas sin embargo las neuronas espejo dependen de que sea otra estructura cognitiva quien, utilizando las vivencias del mono (el observar durante bastante tiempo a los científicos cogiendo la fruta con la pinza), elabore el conocimiento de que la finalidad de coger la fruta con la pinza es exactamente la misma que la finalidad que se busca cuando se coge la fruta con los dedos (comer la fruta) para ser capaces de encenderse cuando el macaco ve al científico utilizando la herramienta. Repito la idea central del razonamiento: si las neuronas espejo fuesen realmente las encargadas de confeccionar el conocimiento que le permitiría a un macaco utilizar una pinza para coger una fruta (la unión entre las secuencias mencionadas) dicha unión necesariamente debería existir en una neurona espejo desde el primer instante en el que el individuo puede observar al científico cogiendo la fruta con la herramienta, cosa que en ningún modo sucede así. Por lo que debemos concluir reafirmandonos en la convicción de que se hace muy difícil poder considerar a las neuronas espejo como las estructuras que elaboran el conocimiento que nos permite entender que es lo que están haciendo los otros y el conocimiento que hace posible que imitemos lo que están haciendo los otros, así que en ningún modo podrían ser las responsables de fabricar nuestro conocimiento ecológico-tecnológico. Ello hace que nos atrevamos a afirmar que el hecho de que los macacos, que no usan herramientas, dispongan de neuronas espejo capaces de codificar su uso es un argumento que hace que pensemos que estas células nerviosas no pueden ser estructuras cognitivas.

La capoeira y el ballet clásico

“Se comprobó que las neuronas espejo de los bailarines de capoeira se activaban más que las de los bailarines clásicos cuando se observaban vídeos de capoeira y viceversa, se activaban más las neuronas espejo de los bailarines clásicos cuando observaban, por ejemplo, El lago de los cisnes.

También se comprobó que las neuronas espejo de los bailarines clásicos se encendían más al observar movimientos hechos por los hombres que las neuronas espejo de las bailarinas y al contrario las neuronas espejo de estas se encendían más que las de los bailarines cuando se observaban los pasos ejecutados por las mujeres”.

(Iacoboni 2009).



Fig. 16. Esta investigación realizada con bailarines demostró que las neuronas espejo se activan en dependencia de la experiencia previa de los individuos lo que nos indica que no pueden ser las estructuras que elaboran los conocimientos.

Si las neuronas espejo fuesen realmente las encargadas de permitirnos unificar las secuencias motrices con las secuencias de imágenes propioceptivas y con las secuencias de imágenes visuales y auditivas (si fueran capaces de fabricar el conocimiento que permite la bailarín aprender a ejecutar un determinado movimiento) sin lugar a dudas tendrían que dispararse con la misma intensidad, independientemente de la experiencia previa del individuo, por la sencilla razón de que si verdaderamente son estructuras cognitivas, el hecho de que se activen es lo que nos permitiría, unificando los cuatro grupos de secuencias, aprender un nuevo movimiento.

Todo esto quiere decir que el funcionamiento del sistema de neuronas espejo depende del conocimiento que previamente se ha adquirido. Recordemos, las neuronas espejo de los bailarines de capoeira solo están más activas si observan vídeos de capoeira, la variedad de danza que ya conocen, en cambio no se disparan con la misma intensidad cuando se trata de una variedad de danza, el ballet clásico, sobre la que no tienen tantos conocimientos. Ello quiere decir que las neuronas espejo en ningún modo pueden ser las

estructuras que permitieron adquirir dichos conocimientos motrices a los bailarines.

Este es otro importantísimo ejemplo que argumenta la idea de que las neuronas espejo no pueden ser las estructuras que hacen posible que aprendamos movimientos mediante la imitación y por lo tanto es probable que sea desacertado considerarlas parte del mecanismo que produce nuestra inteligencia ecológico-tecnológica.

Indicar con la vista

”Los niños de seis meses son incapaces de predecir con la vista donde una mano va a dejar un juguete, sin embargo los niños de un año si lo logran, este es otro ejemplo de que el sistema de neuronas espejo puede ser moldeado por la experiencia” (Iacoboni 2009).

Aquí también es válido el argumento que empleamos anteriormente, si las neuronas espejo fuesen quienes elaboraran el conocimiento que le dice al niño donde una mano va a dejar el juguete dicho conocimiento debería estar disponible desde el mismo instante en el que las neuronas espejo son capaces de funcionar, cosa que no sucede así. De manera que aquí hay otro ejemplo que nos dice que no deberíamos considerar a las neuronas espejo como las estructuras que elaboran nuestros conocimientos.

Las neuronas espejo, el conocimiento en sí

¿Son las neuronas espejo estructuras cognitivas, nos permiten aprender mediante la imitación?

¿Qué son realmente las neuronas espejo?



Fig. 17. Neuronas espejo.

Los ejemplos que acabamos de abordar nos dicen que es probable que el sistema de neuronas espejo en ningún modo pueden considerarse como una estructura que nos permite aprender (elaborar un determinado conocimiento) porque para que las neuronas espejo se activen, primero tiene que existir el conocimiento previo, conocimiento que como es lógico suponer tiene que ser elaborado por otra área de la corteza, una verdadera estructura cognitiva. Si el sistema de neuronas espejo tuviese realmente capacidad para elaborar nuevos conocimientos las neuronas espejo tendrían que activarse en todo momento, con independencia de las experiencias vividas por el individuo ya que ellas (las neuronas espejo) serían las encargadas de convertir dichas experiencias en conocimientos. El hecho de que ello no suceda así, la circunstancia de que las neuronas espejo para poder formarse o moldearse (para ser capaces de hacer su función) precisen de conocimientos que ya se hayan adquirido es una evidencia palpable de que estas células nerviosas no son precisamente las estructuras capaces de convertir las experiencias del individuo en nuevos conocimientos.

Una interconexión neuronal que es un conocimiento

Ahora, lo que es innegable es el hecho de que las neuronas espejo nos permiten conocer que es lo que están haciendo otros individuos y que es lo que están sintiendo como resultado de nuestra interrelación con ellos, de eso no cabe ninguna duda. ¿Como pueden las neuronas espejo permitirnos conocer lo que siente otra persona sin ser ellas capaces de haber elaborado tal conocimiento?

La respuesta es muy simple si consideramos que ellas (las neuronas espejo) pudieran ser el conocimiento en sí.



Fig. 18. Las neuronas espejo pudieran ser el conocimiento en sí.

Tengo la impresión de que las neuronas espejo no son estructuras cognitivas (las áreas que nos permiten elaborar los conocimientos, las que nos permiten aprender) sino que ellas son el conocimiento en sí, son el resultado del aprendizaje realizado por otra estructura de la corteza cerebral. Y su funcionamiento, observado mediante la implantación de electrodos o mediante técnicas no invasivas nos podría estar revelando de forma diáfana la manera en la que existe el conocimiento en nuestro cerebro.

Un sistema muy económico

Como hemos concluido, predeciblemente las neuronas espejo no construyen por sí misma el conocimiento que contienen en el marco de sus interconexiones con otras neuronas, lo que quiere decir que no se conectan por sí mismas con las neuronas de la ínsula, ni estas a su vez con las neuronas del sistema límbico sino que predeciblemente esta interconexión, el conocimiento que es ella, lo confeccionaría una verdadera estructura cognitiva. Esta verdadera estructura cognitiva sería quien en realidad se encarga de elaborar el conocimiento de que: una determinada modificación facial observada en la cara de un interlocutor corresponde a una determinada sensación somática que hemos denominado emoción. Por ello no podemos considerar a las neuronas espejo como la fuente de la que manan los conocimientos que nos permiten relacionarnos con nuestros semejantes. Del mismo modo tampoco podemos pensar que las neuronas espejo son las estructuras que se encargan de unificar la secuencia motriz que compone un comportamiento con las imágenes propioceptivas y visuales de la misma secuencia de movimientos así que tampoco puede ser considerada como la estructura capaz de elaborar nuestros conocimientos ecológico-tecnológicos.

La pregunta que de inmediato surge aquí es: ¿por qué tenemos que tener un almacén de conocimientos (las neuronas espejo) cuando contamos con la posibilidad de elaborarlos cuando precisemos de ellos? ¿No es un desperdicio energético que ello suceda así? ¿No es derrochar energía el tener que mantener un ejército de neuronas espejo conteniendo conocimientos relativos a las inteligencias ecológico-tecnológica y social cuando podemos confeccionar dichos conocimientos cada vez que los necesitamos?

Todo lo contrario, es un ejemplo de ahorro energético y del buen funcionamiento de la capacidad para enfrentarnos al medio físico y al social. Imaginemos lo que gastaríamos si cada vez que tengamos que saber cuanto es 5×5 tenemos que volver a hacer el cálculo, pero sin embargo, si en alguna parte de nuestro cerebro tenemos almacenada la información de que 5×5 es 25, ella sale de forma automática y sin gasto

energético alguno en el instante en el que se le precise. De la misma manera imaginemos que cada vez que vemos una determinada expresión facial en la cara de un interlocutor tendríamos que comenzar a deducir y a analizar a que emoción corresponde la misma, seríamos incapaces de ofrecer de inmediato una respuesta que nos permita salir airosos del trance (ello probablemente es lo que sucede a los autistas), sin hablar de lo que significaría en términos de gasto energético el tener que interpretar y analizar decenas y decenas de emociones cada dos por tres.



Fig. 19. El hecho de que podamos almacenar en una o varias neuronas espejo el conocimiento de que una determinada modificación facial pertenece a una emoción en particular nos evitaría el tener que construir dicho conocimiento cada vez que veamos esta emoción en el rostro de alguien.

Por el contrario si disponemos del conocimiento de que una expresión facial específica corresponde a una determinada emoción dicha información estará disponible en milésimas de segundo y la obtendremos con un mínimo gasto energético.

Imaginemos que tenemos que aprender a pelar una patata cada vez que vamos a hacer una tortilla, o a abrir la lata de atún cada vez que queremos comer pescado, nos dejaría tan poco tiempo libre que probablemente todavía estaríamos aprendiendo a construir una y otra vez, cada vez que se pone el sol el nido de ramas en el que pasaremos la noche.

Ello quizás es la razón por la que a pesar de poseer estructuras capaces de confeccionar conocimientos determinado grupo de ellos existen almacenados en un sistema especial de neuronas que hemos nombrado neuronas espejo. Células nerviosas que al parecer no son otra cosa que el depósito en el que atesoramos parte importante de la información gracias al que nos

relacionarnos de forma satisfactoria con nuestros semejantes y el almacén en el que depositamos la inmensa mayoría del conocimiento que nos permite aprovecharnos del entorno mediante la construcción y el uso de herramientas.

Conclusión final

Hemos tratado de ofrecer una imagen en gran medida estructurada a partir de las observaciones realizadas por uno de los más prestigiosos especialistas en neuronas espejo, Marco Iacoboni expresa claramente que este grupo particular de neuronas precisan de la experiencia previa del individuo para ser capaces de realizar correctamente su función, la de permitirnos entender las intenciones de los otros y la de posibilitarnos el aprovechamiento del entorno. Y precisamente el hecho de que las neuronas espejo precisen de la experiencia previa del individuo es lo que nos ha facilitado explicar que es posible que estas células nerviosas no sean estructuras cognitivas sino que ellas (las interconexiones que establecen con otras neuronas) pudieran ser el conocimiento en sí. Y por lo tanto en ningún modo podría considerárseles como la base de nuestras inteligencias social y ecológico-tecnológica.

REFERENCIAS

- Delgado, J.M. 2001. Estructura y función del cerebelo. *Rev. Neurol.* 33: 640.
- Carter, R. 1998. *El Nuevo Mapa del Cerebro*. RBA, Barcelona.
- Gazzaniga, M. 2007. *¿Qué nos Hace Humanos?* Paidós, Barcelona.
- Gómez, J.C. 2007. *El Desarrollo de la Mente en los Simios, los Monos y los Niños*. Ed. Morata S.L., Madrid.
- Iacoboni, M. 2009. *Las Neuronas Espejo*. Katz ed., Madrid.
- Mediavilla, C., Puerto, A. y Molina, F. 1996. Funciones no motoras del cerebelo. *Revista Psicothema Univ. Oviedo* 8: 669-671.
- Rubia, F. 2006. *¿Qué Sabes de tu Cerebro?* Temas de Hoy S.A., Madrid.

Información del Autor

H. Pérez Ramos es Licenciado en Educación, especialidad Historia y Ciencias Sociales por el Instituto Superior pedagógico Enrique José Varona de Ciudad Habana. Ha publicado anteriormente dos artículos en esta misma revista y es autor del libro “*La Huella de Mary, el Surgimiento de los Homínidos*”.

Evolucion reticulada

Luis Boto

Depto. Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional Ciencias Naturales. CSIC. José Gutiérrez Abascal 2. 28006 Madrid. E-mail: mcnb119@mncn.csic.es

RESUMEN

El presente artículo explora el papel de la denominada evolución reticulada en el proceso global de la evolución biológica. En concreto, se revisa como transferencia génica horizontal e hibridación ínter específica han podido jugar un papel más importante en la evolución del que inicialmente se les ha atribuido. Asimismo se discute como el origen del dominio eucariótico pudo haber surgido como consecuencia de la fusión de dos organismos diferentes y sus correspondientes genomas reforzando la importancia de la evolución reticulada. *eVOLUCIÓN* 7(2): 73-83 (2012).

Palabras Clave: Evolución; transferencia génica horizontal; hibridación; eucariogenesis.

ABSTRACT

The current review explores the role of the reticulate evolution on the global evolutionary process. In particular, I review the roles that horizontal gene transfer and interspecific hybridization play in evolution. Finally, I discuss how the eukaryotic domain could emerge as product of a fusion event between two different organisms and their correspondent genomes reinforcing the importance of reticulate evolution. *eVOLUCIÓN* 7(2): 73-83 (2012).

Key Words: Evolution; horizontal gene transfer; hybridization; eukaryogenesis.

INTRODUCCION

El principio de modificación con descendencia ha presidido el pensamiento evolucionista desde Darwin y ha dado lugar a una visión arborescente de la evolución por la que caracteres y organismos presentes se relacionan con caracteres y organismos del pasado a través de unas relaciones que se pueden representar de una forma gráfica como ramas de un árbol.

Por otro lado, dentro del pensamiento evolucionista estructurado a partir de los postulados de los proponentes de la denominada Síntesis Moderna, y más concretamente a partir del concepto de especie acuñado por Ernest Mayr (1957), los híbridos ínter específicos han sido vistos como callejones sin salida o vías muertas desde un punto de vista evolutivo debido a su esterilidad y su generalmente reducido fitness.

Sin embargo, con el desembarco de las técnicas moleculares en el estudio de la evolución, y sobre todo a partir de los años 90 del pasado siglo, está empezando a resultar evidente que esta visión de la evolución como un árbol no siempre se ajusta a la realidad de los procesos evolutivos, ya que la transferencia de genes y caracteres entre organismos diferentes parece un fenómeno más extendido de lo que se podía pensar y que la hibridación inter específica ha podido jugar cierto papel en la evolución, al menos para algunos organismos.

En este trabajo pretendo revisar de una forma sucinta como lo que se podría denominar como evolución reticulada ha podido modular la evolución del mundo vivo, pasando revista al papel de la transferencia génica horizontal en la evolución fundamentalmente del mundo procariótico, pero también del mundo eucariótico incluyendo animales, y al papel de la hibridación en la evolución en animales y plantas, para finalmente discutir como una de las transiciones fundamentales en la historia de la vida entre las caracterizadas por Maynard Smith y Szathmáry (1997), el origen de la célula eucariótica, pudo ocurrir precisamente por la fusión de dos organismos diferentes y la integración de sus genomas.

Transferencia genica horizontal

Se puede definir la transferencia génica horizontal (o lateral) como la transferencia de material genético (genes completos, operones enteros o secuencias no codificantes) entre organismos filogenéticamente diferentes y su integración estable en el genoma del receptor (Doolittle 1999a) (Fig. 1)..

A pesar de que desde los primeros tiempos del desarrollo de la biología molecular se conocían mecanismos responsables del intercambio de material genético entre bacterias (Lederberg y Tatum 1946; Zinder y Lederberg 1952) tales

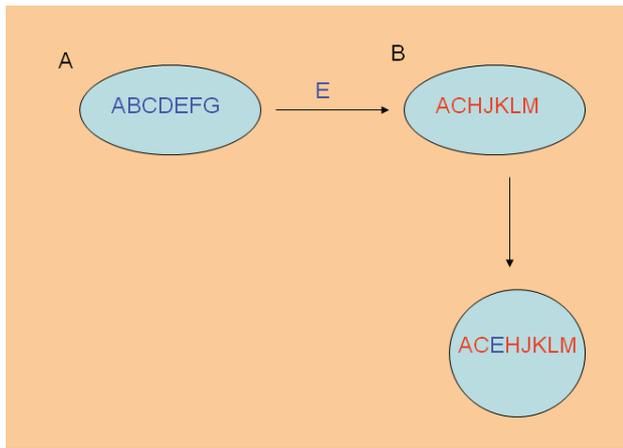


Fig. 1. Representación esquemática de un evento de transferencia horizontal. El organismo A transfiere al organismo B el gen E que es perpetuado entre la descendencia de B permitiendo la adquisición de un nuevo carácter, en este caso una nueva forma

como transformación, transfección o transducción, y de que existía una invocación teórica al posible papel de la transferencia horizontal en el proceso evolutivo (Syvannen 1985) no fue sino hasta los años 90 del pasado siglo, cuando tratando de explicar la incongruencia entre las relaciones filogenéticas recuperadas utilizando genes diferentes se empezó a considerar seriamente que la transferencia génica horizontal podría haber jugado un papel más importante en la evolución, al menos de bacterias, que lo que se podía suponer (Hilario y Gogarten 1993).

Hoy resulta evidente que los genomas bacterianos han sido modulados entre otros procesos, por la adquisición de genes procedentes de otras bacterias, de arqueas, de virus, e incluso de eucariotas. Del mismo modo los genomas de Archaea presentan genes de diferentes procedencias e incluso los genomas eucarióticos presentan genes que proceden tanto de bacterias como de arqueas y de otros eucariotas, lo que confirma que la transferencia horizontal ha estado ampliamente extendida a lo largo de la evolución (Boto 2010a,b) y afecta en mayor o menor medida a los tres dominios biológicos que definieran Woese et al. (1990).

Sin embargo, el debate acerca de la importancia real de la transferencia en la evolución de cada uno de estos dominios y los posibles retos que su propia existencia plantea al concepto de evolución vertical y recuperación de relaciones filogenéticas, y en último término a la recuperación del árbol de la vida, está lejos de ser cerrado.

Ello se debe en parte a que no siempre es sencillo detectar eventos de posible transferencia horizontal. Tradicionalmente, los métodos empleados para detectar eventos de transferencia (Ragan 2001) se basan en las discrepancias en utilización de codones o composición de bases entre los posible genes transferidos y los del organismo receptor, o mejor en las discrepancias filogenéticas entre el gen transferido con el resto

de genes de la especie receptora, pero esto no siempre desemboca en una identificación clara de los posibles sucesos de transferencia. En el primer caso, aunque los genes transferidos puedan diferir originalmente de los del receptor en composición de bases o utilización de codones, con el paso del tiempo estas diferencias se van borrando y esos genes tienden a homogeneizarse con el entorno genómico, de tal manera que aunque pueda ser más o menos fácil identificar por éstos métodos eventos recientes de transferencia, los eventos antiguos pueden pasar desapercibidos. Y con respecto al segundo caso, no siempre resulta claro si una discrepancia filogenética se puede explicar por la adquisición de un gen por transferencia horizontal o por pérdida de un gen compartido en alguna línea.

Ello hace que sea difícil estimar el número de genes que en cada genoma procariótico han sido adquiridos a través de transferencia horizontal. Aún así, se estima que entre un 1.6% y un 32.6% de los genes en cada genoma procariótico han sido adquiridos vía transferencia horizontal (Koonin et al. 2001), aunque la importancia real de la transferencia horizontal puede ser incluso mayor si se tiene en cuenta el impacto acumulativo de la transferencia a través de linajes evolutivos (Dagan et al. 2008).

Y aunque parece que la transferencia tiende a ocurrir más frecuentemente entre organismos próximos filogenéticamente (Andam y Gogarten 2011, Kloesges et al. 2011), lo cual tiene sentido puesto que los genes de organismos cercanos filogenéticamente son más similares en secuencia, composición de bases y utilización de codones que los de organismos más alejados y pueden ser más fácilmente aceptados tras la transferencia, existen evidencias de transferencia entre grupos alejados (Kloesges et al. 2011), incluso de transferencias entre dominios, como aquellas producidas entre Bacteria y Archaea (Rest y Mindell, 2002; Gophna et al. 2004; Le Fourn et al. 2011) o la presencia de genes de origen eucariótico en bacterias (Guljamow et al. 2007).

Considerando que como hemos dicho antes, la detección de eventos antiguos de transferencia es más difícil que la de eventos recientes, parece que la transferencia de material genético entre procariotas ha podido tener lugar a todo lo largo de la historia evolutiva de los mismos, afectando tanto a bacterias como a arqueas, permitiendo la adquisición de diferentes rasgos adaptativos, como determinantes de patogeneicidad bacteriana, resistencia a antibióticos, etc. que han modulado la evolución de estos organismos

Por otra parte, y a pesar de que inicialmente se propuso (Jain et al. 1999) que los genes implicados en metabolismo podrían ser más susceptibles de transferencia que los genes implicados en el procesamiento de la información genética (transcripción, traducción, etc.) debido a

que sus productos están implicados en un menor número de interacciones (hipótesis de la complejidad), parece que no existen barreras absolutas a la posible transferencia de genes (Sorek et al. 2007), aunque ciertamente la conectividad de los productos génicos en las redes metabólicas o reguladoras sea un factor importante permitiendo que los genes transferidos persistan o no en el receptor.

Por otra parte, se ha venido asumiendo que la transferencia horizontal es menos importante como fuerza moduladora de la evolución de eucariotas. De hecho, la presencia de una línea germinal en eucariotas multicelulares constituye una importante barrera a la transmisión y perpetuación de los posibles genes transferidos. Pero por otro lado, el menor número de genomas eucarióticos completados en relación al número de genomas procarióticos que han sido secuenciados, ha venido introduciendo un sesgo a la hora de comparar la importancia de la transferencia horizontal en eucariotas en relación con los procariotas.

Sin embargo, hoy resulta evidente que la transferencia horizontal ha jugado un papel muy importante en la evolución de eucariotas unicelulares (Andersson 2010) y que los genomas nucleares en los eucariotas contienen una gran cantidad de genes procedentes de los ancestros de mitocondrias y plastos (Keeling y Palmer 2008; Lane y Archibald 2008) (ver más adelante). Pero además y sobre todo de estudios publicados en los dos últimos años, se deriva que la adquisición horizontal de genes tanto desde bacterias como de otros eucariotas puede estar jugando un papel más importante en la evolución de éstos, permitiendo la adquisición de elementos que favorezcan su adaptación a nuevos nichos ecológicos.

Con independencia del caso del molusco *Elysia chlorotica*, en el que se han encontrado genes implicados en fotosíntesis procedentes del alga *Vaucheria litorea* (Rumpho et al. 2008) que podrían permitir la persistencia de la función clorofílica en los plastos que el molusco adquiere a partir de las algas ingeridas, cuya expresión real se ha cuestionado (Pelletreau et al. 2011) aunque otros estudios recientes apoyan (Pierce et al. 2012), numerosos casos de transferencia horizontal en eucariotas recientemente descritos nos obligan a considerar que la importancia de ésta en eucariotas es mayor que lo que inicialmente se había supuesto.

Así, por citar solo unos pocos ejemplos, se ha encontrado que la presencia de transferencia horizontal masiva de genes de diferentes organismos ha podido jugar un papel importante en la evolución de rotíferos bdelloides, permitiendo introducir variabilidad genética en un grupo de organismos de reproducción asexual (Gladyshev et al. 2008).

Asimismo, la transferencia horizontal parece que ha modulado la evolución tanto de los genomas nucleares, como los mitocondriales y plastídicos en plantas dibujando una compleja historia evolutiva de las mismas (Bock 2010).

Por otro lado, la adquisición en hongos de genes desde oomycetos pero también desde bacterias y arqueas parece haber contribuido a la adquisición de mecanismos de patogénesis por los mismos (Mehrabi et al. 2011; McDonald et al. 2012). De igual manera, la transferencia horizontal entre insectos y nematodos y desde bacterias a éstos ha contribuido a la evolución de este grupo permitiéndoles la adquisición de genes que posibilitan adaptaciones como la patogénesis de plantas (Rodelsperger y Sommer 2011). Finalmente, destacar la adquisición por Aphidos de genes de biosíntesis de carotenoides desde hongos (Moran y Jarvik 2010; Novakova y Moran 2012) que les ha permitido sintetizar estos compuestos siendo el único grupo animal que puede sintetizar carotenoides. En los tres casos, los genes transferidos parecen expresarse correctamente en el receptor y son por tanto funcionales.

De lo discutido hasta ahora resulta claro que la transferencia génica horizontal ha jugado un papel importante en la evolución de la vida, constituyendo una fuente de variabilidad adicional a las lentas y acumulativas mutaciones contempladas en la síntesis moderna y que puede aportar novedades evolutivas de una forma rápida. Ello ha llevado a algunos autores (Doolittle 1999b; Doolittle y Baptiste 2007) a cuestionarse si es posible recuperar las relaciones filogenéticas de los organismos y si realmente tiene sentido la metáfora de árbol de la vida para describir el proceso evolutivo. Frente a ellos, otros autores sostienen que es posible recuperar la historia filogenética de los organismos a partir de algunos genes core conservados y transmitidos verticalmente a lo largo de la historia evolutiva (Ciccarelli et al. 2006; Gribaldo y Brochier 2009).

Los defensores del primer punto de vista argumentan sin embargo, que el número de genes conservados y transmitidos verticalmente es tan pequeño, que defender un árbol de la vida basado en un como mucho 0.7% de genes del genoma carece de sentido (Baptiste et al. 2008; Dagan et al. 2008; Lapierre y Gogarten 2009) y por lo tanto piden abandonar la visión de la evolución como un árbol proponiendo que ésta debería describirse mejor con otras metáforas como la de red (Doolittle 1999b), anillo de la vida (Rivera y Lake 2004) u otras (Williams et al. 2011), que tuvieran en cuenta que los genomas (y los fenotipos) de los diferentes organismos están modulados por genes de diferentes procedencias, sobre todo en lo que respecta al mundo procariótico.

Dentro de este debate hay autores como Peter Gogarten (Huang y Gogarten 2006; Andam y Gogarten 2011) que defienden que a pesar de que la evolución no haya procedido como un árbol, el hecho de que la transferencia horizontal de genes ocurra mas frecuentemente entre organismos más cercanos filogeneticamente puede ser utilizado (considerando las transferencias como sinapomorfias) para reforzar dichas relaciones filogenéticas.

Estudios recientes tratan de abordar el problema utilizando nuevas metodologías que permitan separar los efectos de las posibles transferencias horizontales de una señal vertical si la hubiera, como por ejemplo analizar un gran número de árboles filogenéticos diferentes para diferentes genes (lo que los autores definen como una análisis del bosque de la vida) en lugar de tratar de recuperar un árbol utilizando genes conservados concatenados. Estos estudios llevan a postular que a pesar de que es posible detectar transferencia horizontal en la mayoría de los árboles filogenéticos, también es posible recuperar una cierta señal de evolución vertical (Puigbò et al. 2010; Koonin et al. 2011)

Por otro lado, estudios utilizando una megamatriz combinada de secuencias aminoacídicas y presencia/ausencia de genes también parecen recuperar un árbol filogenético (Lienau et al. 2011) bastante congruente con otros árboles previamente publicados (Ciccarelli et al. 2006).

El debate sin embargo sigue abierto, pues ciertas tendencias de evolución vertical podrían ser debidas al reforzamiento inducido por transferencias más frecuentes entre organismos próximos (Andam y Gogarten 2011) y por otro lado, aunque estas tendencias de evolución vertical fueran reales, lo cierto es que hoy no podemos cerrar los ojos al efecto que la transferencia horizontal ha tenido en la evolución de los procariontes pero también en la de los eucariotes, aunque algunos autores defiendan que la evolución en procariontes es sustancialmente diferente de la evolución en eucariotes (Bapteste et al. 2009).

Hibridación

La hibridación entre organismos diferenciados filogeneticamente puede ser considerada como una forma extrema de transferencia génica horizontal (Arnold et al. 2008; Boto 2010a) y aunque durante muchos años ha sido considerada como un evento raro entre animales conducente a organismos estériles o de fitness reducido, hoy empieza a ser considerada como una fuerza evolutiva más que puede permitir la adquisición de novedades que faciliten las radiaciones adaptativas tras la ocupación de nuevos nichos ecológicos (Seehausen 2004).

Aunque se conoce desde hace tiempo que la hibridación puede ser una fuerza importante en la

modulación de la evolución en plantas (Stace 1975), el zoocentrismo de los impulsores de la Síntesis Evolutiva Moderna y la influencia del concepto biológico de especie de Mayr ha llevado a considerar la hibridación como una fuerza negativa en evolución, contraria a aquellas que promueven la especiación a través de mecanismos de aislamiento reproductivo (Mayr 1963; Mayr 1992). Y a pesar de que ya en la segunda mitad del siglo pasado algunos autores como Lewontin (Lewontin y Birch 1966) defendieron el posible papel de la hibridación en la evolución animal, no es hasta estos últimos veinte años, con la aplicación de técnicas moleculares de una forma casi rutinaria a los estudios zoológicos (Schwenk et al. 2008), cuando se ha empezado a considerar más seriamente que la hibridación interespecífica ha jugado un papel más importante del atribuido en la evolución animal (Seehausen 2004; Mallet 2005; Mallet 2007; Nolte y Tautz 2010).

Efectivamente, los análisis de cariotipo y la comparación de la información filogenética proporcionada por marcadores nucleares por un lado y marcadores mitocondriales por otro, han confirmado numerosos casos de hibridación en animales y plantas (previamente sospechosos a partir de evidencias morfológicas) que han desembocado en la aparición de nuevas especies, a la vez que han identificado otros nuevos, lo que abre la puerta a replantearse el papel de la misma en la evolución.

Así, se han descrito tanto casos de aparición de nuevas especies por hibridación homoploide, en que la nueva especie conserva el número cromosómico de una de las especies parentales, como de especiación aloploide, en que las nuevas especies presentan grados diferentes de ploidía.

La especiación homoploide implica la recombinación en el híbrido de los genomas procedentes de las líneas parentales, y en principio puede ser difícil de reconocer, ya que la presencia de mosaicos de genes en un genoma podría atribuirse también a la introgresión de genes neutrales procedentes de poblaciones de la misma especie. Asimismo, la posible especiación homoploide debería darse a partir de especies no completamente aisladas desde el punto de vista reproductivo y habitando áreas contiguas que generen híbridos que establezcan mecanismos rápidos de aislamiento reproductivo con sus progenitores que limiten el flujo génico con aquellos, lo cual hace que a priori no parezca un proceso fácil y que por tanto, su importancia y extensión como mecanismo de especiación debería ser limitado

Sin embargo, se han descrito o postulado casos de especiación homoploide en casi todos los grupos de metazoos, desde corales (Vollmer y Palumbi 2002) a mamíferos (Larsen et al. 2010), pasando por insectos (Gompert et al. 2006;

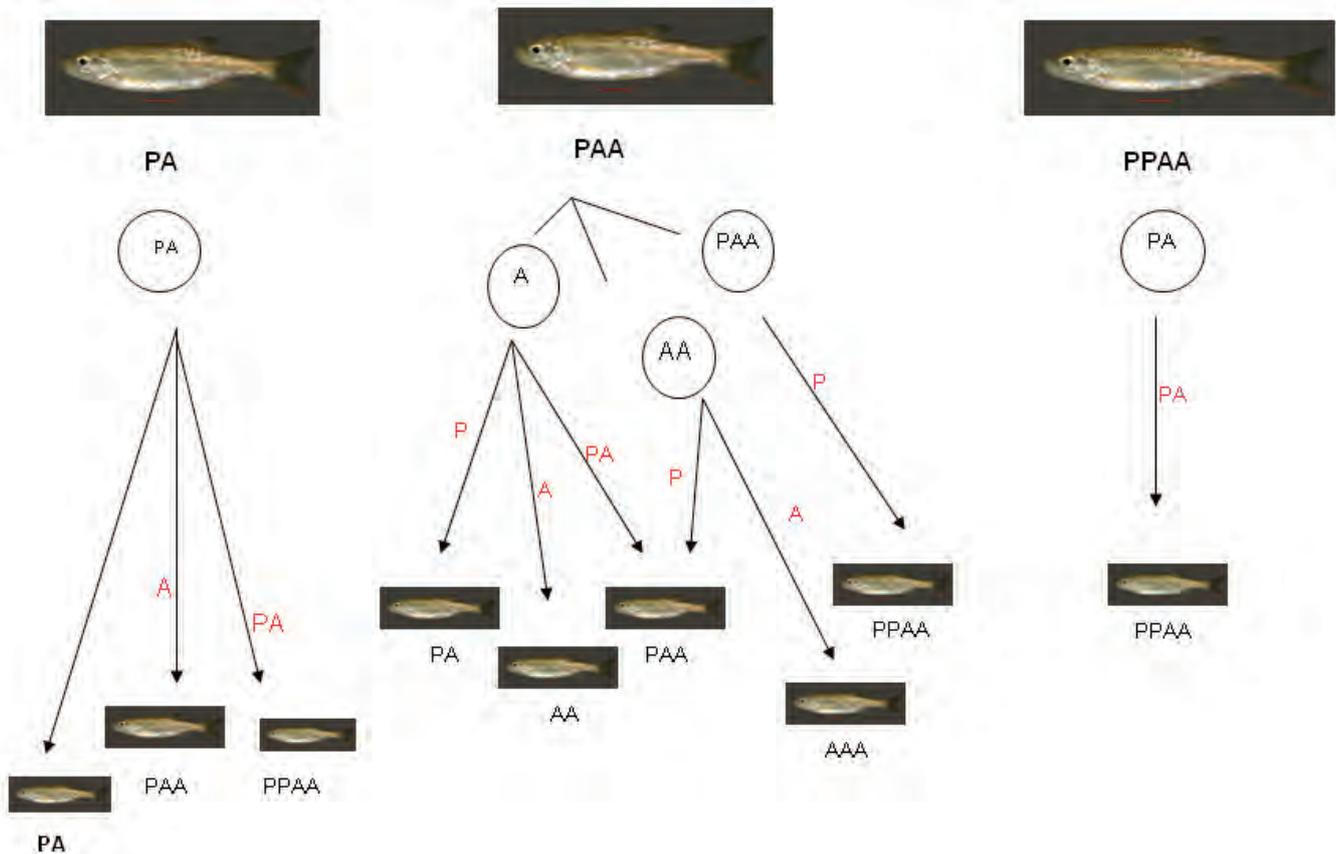


Fig. 2. Representación de algunos de los patrones reproductivos en *S. alburnoides* (adaptado de Crespo-López et al. 2006). Se muestran solo cruces observados, aunque otros cruces son posibles. La parte superior de la figura muestra hembras con diferente genotipo que producen los gametos representados por círculos. Estos gametos pueden ser fecundados por espermatozoides de diferente genotipo (en rojo) o como en el caso de la izquierda dar origen a una descendencia clonal (fotografías de I. Doadrio)

Mavárez et al. 2006), peces (Koblmüller et al. 2010; Joyce et al. 2011) o aves (Brelsford et al. 2011), así como en plantas (Buerkle et al. 2000) por citar solo algunos ejemplos, lo que da idea de que la especiación por hibridación homoploide puede ser más abundante de lo que se ha venido estimando, y es posible que en la actualidad solo conozcamos la punta del iceberg en lo que respecta a la importancia de este tipo de especiación en la diversificación de las formas de vida.

Por otro lado, la especiación alopoliploide, implica la coexistencia en los híbridos de genomas completos de las especies parentales y un grado de plodía variable, de tal manera, que se hace difícil entender como es posible que los híbridos puedan persistir en el tiempo enfrentándose al conflicto que supone la presencia de genomas diferentes. Y sin embargo, existen evidencias de híbridos poliploides tanto en plantas como en animales, estables a lo largo de varias generaciones, de tal manera que constituyen especies diferenciadas de sus especies parentales. Las características reproductivas de las plantas hacen que la especiación por hibridación alopoliploide esté bastante extendida, pero ésta también se ha descrito en animales que han desarrollado complejos sistemas reproductivos, que van desde la partenogénesis a la hibridogénesis meiótica pasando por la

ginogénesis y otros mecanismos complejos (Beukeboom y Vrijenhoek 1998; Alves et al. 2001; Stöck et al. 2012).

Uno de estos ejemplos es el del complejo de especies de *Squalius alburnoides*, un Cíprinido habitante de la Península Ibérica que presenta diferentes preespecies en diferentes cuencas fluviales con diferentes grados de plodía y con diferente composición genómica.

Diferentes estudios han permitido establecer el origen híbrido de estas poblaciones a partir de las especies parentales *Squalius pyrenaicus* y un ancestro relacionado filogenéticamente con *Anacypris hispanica*. En cuencas del sur de la Península Ibérica las especies presentan genomas nucleares de ambas especies parentales (genomas P y A) mientras que en las cuencas del norte, el genoma de *Squalius carolitertii* (genoma C), especie que vive en simpatria con los híbridos, sustituye al genoma P (Alves et al. 2001; Robalo et al. 2006; Collares-Pereira y Coelho 2010). Individuos diploides, triploides y tetraploides con combinaciones de estos genomas se han encontrado en diferentes localidades.

Diferentes mecanismos reproductivos (ver Fig. 2) permiten mantener estas combinaciones genómicas a lo largo de sucesivas generaciones e introgresiones de DNA mitocondrial también han sido observadas.

Además de este ejemplo, existen como hemos dicho otros muchos casos de hibridación alopoliploide descritos fundamentalmente en otros peces y anfibios, y como hemos comentado en relación a la hibridación homoploide, posiblemente éstos no sean más que la punta del iceberg de lo que nos queda por descubrir.

Un problema que presenta la existencia de especies híbridas poliploides es como gestionan estas especies el conflicto genómico que supone la existencia de un número extra de copias génicas y la coexistencia de genomas diferentes en un mismo individuo. En este sentido se ha postulado que la inactivación o expresión diferencial de genomas puede ayudar a mantener estas especies en el tiempo. Resultados recientes en el complejo de *Squalius alburnoides* muestran que efectivamente en individuos triploides se da un silenciamiento diferencial de algunos genes de los genomas P o C en ciertos tejidos (Pala et al. 2008, 2010) lo que abre una muy interesante vía a la exploración de los mecanismos por los que especies híbridas poliploides son mantenidas.

De todo lo discutido hasta ahora se desprende que la hibridación representa un mecanismo de generación de diversidad más extendido en la naturaleza de lo que se había venido considerando, y aunque muchas cuestiones permanezcan abiertas acerca por ejemplo de su viabilidad a largo plazo (a través por ejemplo de la conversión de híbridos unisexuales en especies reproductivamente sexuales (Cunha et al. 2008; Christiansen y Reyer 2009; Lutes et al. 2011), o de como los híbridos se aíslan reproductivamente de sus parentales, o de su posible papel facilitador de las radiaciones adaptativas (Seehausen 2004), la hibridación merece ser considerada entre las fuerzas evolutivas que han conformado la biodiversidad actual, y las especies y complejos híbridos deberían ser considerados cuidadosamente a la hora de planificar estudios de conservación y gestión de la biodiversidad.

¿Un caso de hibridación de gran trascendencia evolutiva?: El origen de la célula eucariótica

El origen de la célula eucariótica es una de las grandes transiciones en la historia de la evolución definidas por Maynard Smith y Szathmáry (1977) y hoy, la mayoría de las teorías que intentan explicarlo, parten de la base de que dicho origen se produjo por un proceso de hibridación o simbiogénesis entre dos organismos procarióticos.

La idea de que el origen de la célula eucariótica fue simbiogénico es antigua (Merezhovsky 1909), aunque durante la mayor parte del siglo veinte dicha idea fuera aparcada y ninguneada hasta que Lynn Margulis lograra convencer a la comunidad científica del origen microbiano de mitocondrias y plastos (Margulis 1970) posteriormente confirmado por múltiples evidencias. Aún

así, no es hasta la aplicación rutinaria de técnicas de secuenciación cuando se empieza a pensar que el propio núcleo eucariótico es en si mismo una consecuencia de un proceso de simbiogénesis o hibridación antiguo al encontrarse que una parte de los genes nucleares de los eucariotas (generalmente, pero no solo, aquellos relacionados con las funciones de replicación, traducción y transcripción) parecen tener una mayor relación filogenética con genes de Archaea, mientras que otra parte (generalmente genes implicados en el metabolismo intermediario) parecen tener una mayor relación filogenética con genes de Eubacterias (Zillig et al. 1989; Golding y Gupta 1995; Ribeiro y Golding 1998; Rivera y Lake 2004).

Por ello hoy, y aún cuando algunos autores sigan defendiendo que el origen de los eucariotas no implica un proceso de fusión entre diferente partenaires sino que pudo ser perfectamente autógeno (Gribaldo et al. 2010; Forterre 2011) una gran parte de la comunidad científica apoya modelos de origen de los eucariotas que implican la fusión entre una bacteria y una arquea.

Sin embargo, existen discrepancias entre que bacterias y que arqueas participaron en dicha fusión y diferentes modelos y escenarios han sido propuestos (Embley y Martin 2006) para tratar de explicar el origen de la célula eucariótica.

De entre todos los modelos propuestos, citaremos brevemente cuatro que han sido discutidos exhaustivamente en estos años (Fig. 3), el modelo de la endosimbiosis seriada de Margulis (Margulis 1970), el modelo fagotrófico que postula procesos de fagocitosis para explicar el origen de los eucariotas (Cavalier-Smith 2002), un modelo sintrófico que propone un origen metanógeno de la célula eucariótica (Moreira y López García 1998), y finalmente otro defendiendo la hipótesis del papel del hidrógeno en el origen del primer eucariota (Martin y Müller 1998).

El primero de ellos (Margulis 1970) es el clásico de Margulis y propone la incorporación de un organismo tipo Spirochaeta a una crenarcheota generadora de sulfuro de hidrógeno y termoacidófila, tipo Thermoplasma, para generar un consorcio sintrófico móvil, al que se unirían posteriormente otros organismos, como alfa proteobacterias y cianobacterias que darían lugar a mitocondrias y plastos. A favor del modelo juega el que consorcios de este tipo realmente existen en la naturaleza, pero sin embargo, los datos moleculares no muestran ningún tipo de relación filogenética entre los genes eucarióticos y los genes de Spirochaeta.

El segundo (Cavalier-Smith 2002) postula la fagocitosis de una Crenarcheota (que no es digerida) por una eubacteria Gram negativa para dar origen a una célula nucleada que adquiriría las mitocondrias y plastos en un estadio posterior y su principal problema es la ausencia de

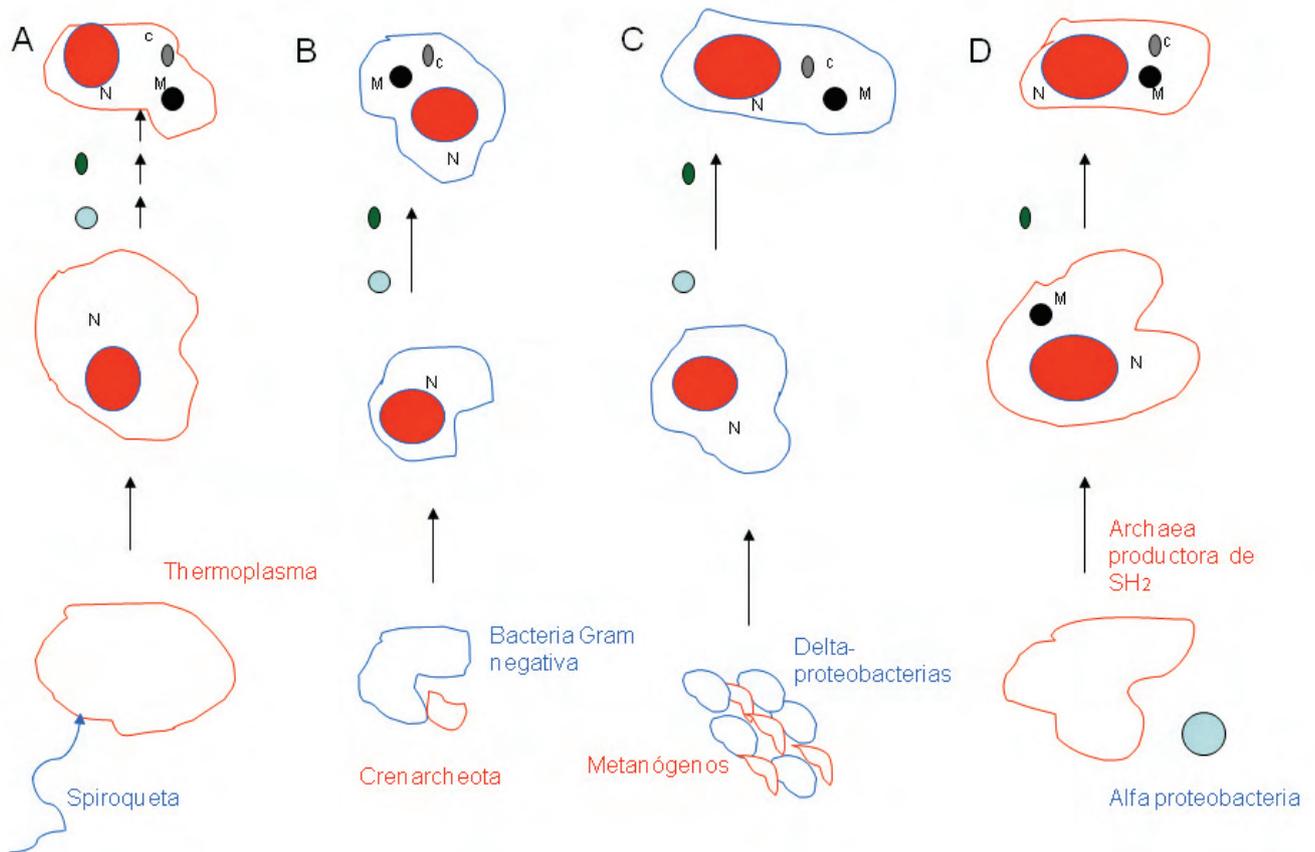


Fig. 3. Diferentes modelos de origen endosimbiótico de la célula eucariótica. **A.** Modelo de endosimbiosis secuencial, **B.** Modelo fagotrófico. **C.** Modelo sintrófico. **D.** Modelo del hidrógeno. En rojo componentes arqueanos, en azul, eubacterianos. Las alfa proteobacterias precursoras de mitocondria y en el modelo D, también del núcleo están representadas por un círculo relleno, las cianobacterias precursoras de cloroplastos, por una elipse rellena. C. Cloroplastos, M. Mitocondria. N. Núcleo. Ver texto principal para más detalles. (Adaptado de Embley y Martin 2006)

evidencias de procesos fagotróficos en la actualidad que puedan sustentar el modelo.

El tercer modelo (Moreira y López García 1998) postula dos fenómenos simbióticos, el primero una simbiosis anaeróbica entre una arquea metanogénica y una delta proteobacteria productora de hidrógeno y el segundo, la incorporación al consorcio en una fase muy temprana de una alfa proteobacteria muy versátil que posteriormente devendría en mitocondria. Según el modelo, el endosimbionte metanógeno daría origen al núcleo incorporando genes de ambos partners mientras que la delta proteobacteria sería el origen de la mayoría de rasgos citoplásmicos. Sintrofías de este tipo son bastante comunes en sedimentos anóxicos actuales.

Los tres modelos discutidos hasta el momento tienen en común que defienden un origen más o menos tardío de la mitocondria que se produciría a través de eventos endosimbióticos secundarios.

El cuarto modelo (Martin y Muller 1998) propone la asociación de una arquea autotrófica estrictamente anaerobia consumidora de hidrógeno molecular y dióxido de carbono y una alfa proteobacteria capaz de respirar aeróbicamente y de producir el hidrógeno molecular y el dióxido de carbono requeridos por la arquea. Según este modelo, la alfa proteobacteria participante en este proceso derivaría finalmente en mitocondria tras

transferir la mayoría de sus genes al núcleo, por lo que el modelo se diferencia de los anteriores en que no implica una endosimbiosis secundaria para explicar el origen de las mitocondrias (aunque sí para explicar el origen de los plastos, que es secundario en todos los modelos).

En todos ellos, los precursores de mitocondrias (α -proteobacteria) y plastos (cianobacteria en el caso de los cloroplastos), transferirían horizontalmente la mayoría de sus genes al núcleo a lo largo de la evolución de la célula eucariótica.

Todos estos modelos y otros no discutidos aquí tienen sus ventajas y sus inconvenientes, y actualmente no existe un consenso acerca de que modelo puede explicar mejor el origen de la célula eucariótica, sobre todo teniendo en cuenta la necesidad de explicar como pudieron surgir a partir de estos modelos, no solo el núcleo, las mitocondrias o los plastos, sino también los diferentes sistemas de membrana que caracterizan a la célula eucariótica.

Es por ello que otros autores siguen defendiendo modelos autógenos para explicar el origen de la célula eucariótica, en los que los eucariotas aparecerían por evolución estrictamente vertical a partir de los dos dominios procariontes. En este sentido, en los últimos años se ha especulado mucho con el denominado grupo procarionte PVC (Planctomyceses,

Verrucomicrobia y Chlamydia), podrían constituir una especie de eslabón perdido entre procariotas y eucariotas, debido a la presencia en ellos de caracteres de tipo eucariótico (Devos y Reynaud 2010; Reynaud y Devos 2011).

Sin embargo, resultados recientes demuestran que estas semejanzas con eucariotas son realmente analogías y no homologías (McInerney et al. 2011) lo que cuestiona seriamente estos modelos basados en el grupo PVC.

Recientes análisis de la importancia celular de los genes de posible origen arqueano o eubacteriano, como los llevados a cabo en levadura o humanos (Cotton y McInerney 2010; Alvarez-Ponce y McInerney 2011) muestran que en ambos casos, los genes supuestamente procedentes de arqueas son más importantes para la célula y se expresan más que los que supuestamente proceden de eubacterias, apoyando modelos endosimbióticos en los que las Archaea contribuirían fundamentalmente al origen del núcleo eucariótico.

La extensión de este tipo de estudios, junto con el estudio de simbiosis actuales (Moya y Peretó 2011) contribuirán sin duda a aclarar el origen de la célula eucariótica, pero lo que es innegable es que tanto eventos de hibridación como de transferencia génica horizontal han tenido una gran importancia en el mismo y que la metáfora de la evolución como un árbol no es estrictamente aplicable para describir el origen y evolución de la célula eucariótica (Rivera y Lake 2004, Martin 2011).

REFERENCIAS

- Alvarez-Ponce, D. y McInerney, J.O. 2011. The human genome retains relics of its prokaryotic ancestry: Human genes of archaeobacterial and eubacterial origin exhibit remarkable differences. *Genome Biol. Evol.* 3: 782-790.
- Alves, M.J., Coelho, M.M. y Collares-Pereira, M.J. 2001. Evolution in action through hybridization and polyploidy in an Iberian freshwater fish: A genetic review. *Genetica* 111: 375–385
- Andam, C.P. y Gogarten, J.P. 2011. Biased gene transfer in microbial evolution. *Nature Rev. Microbiol.* 9: 543-555.
- Andersson, J.O. 2010. Gene transfer diversification of microbial eukaryotes. *Ann. Rev. Microbiol.* 63: 177-193.
- Arnold, M.L., Sapir, Y. y Martin, N.M. 2008. Genetic exchange and the origin of adaptations: prokaryotes to primates. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 363: 2813-2820.
- Bapteste, E., Susko, E., Leigh, J., Ruiz-Trillo, I., Bucknam, J. y Doolittle, W.F. 2008. Alternative methods for concatenation of core genes indicate a lack of resolution in deep nodes of the prokaryotic phylogeny. *Mol. Biol. Evol.* 25: 83-91.
- Bapteste, E., O'Malley, M.A., Beiko, R.G., Ereshesky, M., Gogarten, J.P., Franklin-Hall, L., Lapointe, F.J., Dupré, J., Dagan, T., Boucher, Y. y Martin, W. 2009. Prokaryotic evolution and the tree of life are two different things. *Biol. Direct* 4: 34.
- Beukeboom, L.W. y Vrijenhoek, R.C. 1998. Evolutionary genetics and ecology of sperm dependent parthenogenesis. *J. Evol. Biol.* 11: 755-782.
- Bock, R. 2010. The give-and-take of DNA: horizontal gene transfer in plants. *Trends Plant Sci.* 15: 11-22
- Boto, L. 2010a. Horizontal gene transfer in evolution: Facts and challenges. *Proc. R. Soc. Lond. B* 277: 819-827.
- Boto, L. 2010b. Horizontal gene transfer in evolution. En: *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley y Sons Ltd:Chichester.
- Brelsford, A., Milá, B. y Irwin, D.E. 2011. Hybrid origin of Audubon's warbler. *Mol. Ecol.* 20: 2380-2389.
- Buerkle, C.A., Morris, R., Asmussen, M.A. y Rieseberg, L.H. 2000. The likelihood of homoploid hybrid speciation *Heredity* 84: 475-484.
- Cavalier Smith, T. 2002. The phagotrophic origin of eukaryotes and phylogenetic classification of Protozoa. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52: 297-354.
- Ciccarelli, F.D., Doerks, T., Von Mering, C., Creevey, C.J., Snel, B. y Bork, P. 2006. Toward automatic reconstruction of a highly resolved tree of life. *Science* 311: 1283-1287.
- Christiansen, D.G. y Reyer, H.-U. 2009- From clonal to sexual hybrids: Genetic recombination via triploids in all-hybrid populations of water frogs. *Evolution* 63: 1754-1768-
- Collares-Pereira, M.J. y Coelho, M.M. 2010. Reconfirming the hybrid origin and generic status of the iberian cyprinid complex *Squalius alburnoides*. *J. Fish. Biol.* 76: 707-715.
- Cotton, J.A. y McInerney, J.O. 2010. Eukaryotic genes of archaeobacterial origin are more important than the more numerous eubacterial genes, irrespective of function. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107: 17252-17255.
- Crespo-López, M.E., Duarte, T., Dowling, T. y Coelho, M.M. 2006. Modes of reproduction of the hybridogenetic fish *Squalius alburnoides* in the Tejo and Guadiana rivers: An approach with microsatellites. *Zoology* 109: 277-286.
- Cunha, C., Doadrio, I. y Coelho, M.M. 2008. Speciation towards tetraploidization after intermediate processes of non sexual reproduction. *Phil. Trans. R. Soc. Lond B. Biol. Sci.* 363: 2921-2929.
- Dagan, T., Artzy-Randrup, Y. y Martin, W. 2008. Modular networks and cumulative impact of

- lateral transfer in prokaryote genome evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105: 10039-10044.
- Devos, D. P. y Reynaud, E. G. 2010. Intermediate steps. *Science* 330: 1187.
- Doolittle, W.F. 1999a. Lateral genomics. *Trends Cell. Biol* 9: M5-M8.
- Doolittle, W.F. 1999b. Phylogenetic classification and the universal tree. *Science* 284: 2124-2128.
- Doolittle, W.F y Baptiste, E. 2007. Pattern pluralism and the tree of life hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 104: 2043-2049.
- Embley, T.M. y Martin, W. 2006. Eukaryotic evolution, changes and challenges. *Nature* 440: 623-630.
- Forterre, P. 2011. A new fusion hypothesis for the origin of eukarya: better than previous ones, but probably also wrong. *Res. Microbiol.* 162: 77-91.
- Gladyshev, E.A., Meselson, M. y Arkhipova, I.R. 2008. Massive horizontal gene transfer in bdelloid rotifers. *Science* 320: 1210-1213.
- Golding, G.B. y Gupta, R.S. 1995. Protein-based phylogenies support a chimeric origin for the eukaryotic genome. *Mol. Biol. Evol.* 12: 1-6.
- Gomper, Z., Fordyce, J. A., Forister, M. L., Shapiro, A.M. y Nice, C.C. 2006. Homoploid hybrid speciation in an extreme habitat. *Science* 314: 1923-1925.
- Gophna, U., Charlebois, R.L. y Doolittle, W.F. 2004. Have archaeal genes contributed to bacterial virulence?. *Trends Microbiol.* 12: 213-219.
- Gribaldo, S. y Brochier, C. 2009. Phylogeny of prokaryotes: does it exist and why should be care? *Res. Microbiol.* 160: 513-521.
- Gribaldo, S., Poole, A. M., Daubin, V., Forterre, P. y Brochier-Armanet, C. 2010. The origin of eukaryotes and their relationship with the archaea: Are we at a phylogenomic impasse? *Nature Rev. Microbiol.* 8: 743-752.
- Guljamow, A., Jenke-Kodama, H., Saumweber, H., Quillardet, P., Frangeul, L., Castets, A.M., Bouchier, A. M., Tandeau de Marsac, N. y Dittmann, E. 2007. Horizontal gene transfer of two cytoskeletal elements from a Eukaryote to a Cyanobacterium. *Curr. Biol.* 17: R757-R759.
- Hilario, E. y Gogarten, J.P. 1993. Horizontal gene transfer of ATPase genes-the tree of life becomes a net of life. *Bio Systems* 31: 111-119.
- Huang, J. y Gogarten, J.P. 2008. Concerted gene recruitment in early plant evolution *Genome Biol.* 9: R109.
- Jain, R., Rivera, M.C. y Lake, J.A. 1999. Horizontal gene transfer among genomes: The complexity hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 3801-3806.
- Joyce, D.A., Luny, D.H., Genner, M.J., Turner, G.F., Bills, R. y Seehausen, O. 2011. Repeated colonization and hybridization in lake Malawi cichlids. *Current Biol.* 21: R108-R109.
- Keeling, P.J. y Palmer, J.D. 2008. Horizontal Gene Transfer in eukaryotic evolution. *Nature Rev. Genet.* 9: 605-618.
- Kloesges, T., Popa, O., Martin, W. y Dagan, T. 2011. Networks of gene sharing among 329 proteobacterial genomes reveal differences in lateral gene transfer frequency at different phylogenetic depths *Mol. Biol. Evol.* 28: 1057-1054.
- Koblmüller, S., Egger, B., Sturmbauer, C. y Sefc, K.M. 2010. Rapid radiation, ancient incomplete lineage sorting and ancient hybridization in the endemic Lake Tanganyika cichlid tribe Tropheini. *Mol. Phylogenet. Evol.* 55: 318-334.
- Koonin, E.V., Makarova, A.S. y Aravind, L. 2001. Horizontal gene transfer in Prokaryotes. Quantification and classification. *Annu. Rev. Microbiol.* 55: 709-742.
- Koonin, E.V., Puigbò, P. y Wolf, Y.I. 2011. Comparison of phylogenetic trees and search for a central trend in the "forest of life". *J. Comp. Biol.* 18: 917-924.
- Lane, C.E. y Archibald, J.M. 2008. The eukaryotic tree of life: Endosymbiosis takes its TOL. *Trends Ecol. Evol.* 23: 268-275.
- Lapierre, P. y Gogarten, J.P. 2009. Estimating the size of the bacterial pan-genome. *Trends Genet.* 25: 107-110.
- Larsen, P.A., Marchán-Rivadeneira, M.R. y Baker, R.J. 2010. Natural hybridization generates mammalian lineage with species characteristics. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107: 11447-11452.
- Lederberg, J. y Tatum, E.L. 1946. Gene recombination in *Escherichia coli*. *Nature* 158: 558.
- Le Fourn, C., Brasseur, G., Brochier-Armanet, C., Pieulle, L., Brioukhanov, A., Ollivier, B. y Dolla, A. 2011. An oxygen reduction chain in the hyperthermophilic anaerobe *Thermotoga maritima* highlights horizontal gene transfer between Thermococcales and Thermotogales. *Environ. Microbiol.* 13: 2132-2145.
- Lewontin, R.C. y Birch, L.C. 1966. Hybridization as a source of variation for adaptation to new environments. *Evolution* 20: 315-336.
- Lienau, E.K., DeSalle, R., Allard, M., Brown, E. W., Swofford, D., Rosenfeld, J.A., Sarkar, I. N. y Planet, P.J. 2011. The mega-matrix tree of life: using genome-scale horizontal gene transfer and sequence evolution data as information about the vertical history of life. *Cladistics* 27: 417-427.
- Lutes, A.A., Baumann, D.P., Neaves, W.B. y Baumann, P. 2011. Laboratory synthesis of an independent reproducing vertebrate species. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108: 9910-9915.
- Mallet, J. 2005. Hybridization as an invasion of the genome. *Trends Ecol. Evol.* 20 229-237.
- Mallet, J. 2007. Hybrid speciation. *Nature* 446: 279-283.

- Margulis, L. 1970. *Origin of Eukaryotic Cells*. Yale Univ. Press. New Haven.
- Martin, W.F. 2011. Early evolution without a tree of life. *Biol. Direct* 6: 36.
- Martin, W. y Müller, M. 1998. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. *Nature* 392: 37-41.
- Mavárez, J., Salazar, C.A., Bermingham, E., Salcedo, C., Jiggins, C.D. y Linares, M. 2006. Speciation by hybridization in *Heliconius* butterflies. *Nature* 441: 868-871.
- Mayer, W.E., Schuster, L.N., Bartelmes, G., Dieterich, C. y Sommer, R.J. 2011. Horizontal gene transfer of microbial cellulases into Nematode genomes is associated with functional assimilation and gene turnover. *BMC Evol. Biol.* 11: 13.
- Maynard Smith, J. y Szathmáry E. 1997. *The Major Transitions in Evolution*. Oxford Univ. Press, New York.
- Mayr, E. 1957. Species concepts and definitions. Pp. 371-388. *En* Mayr, E. (ed), *The Species Problem*. AAAS, Washington DC.
- Mayr, E. 1963. *Animal species and evolution*. Harvard University Press. Boston.
- Mayr, E. 1992. A local flora and the biological species concept. *Am. J. Bot.* 79: 222-238.
- McDonald, T.R., Dietrich, F.S. y Lutzoni, F. 2012. Multiple horizontal gene transfers of ammonium transporters/ammonia permeases from prokaryotes to eukaryotes: toward a new functional and evolutionary classification. *Mol. Biol. Evol.* 29: 51-60.
- McInerney, J.O., Martin, W.F., Koonin, E.V., Allen, J.F., Galperin, M.Y., Lane, N., Archibald, J.M. y Embley, T.M. 2011. Planctomycetes and Eukaryotes: A case of analogy not homology. *Bioessays* 33: 810-817.
- Mehrabi, R., Bahkali, A.H., Abd-Elsalam, K.A., Moslem, M., Ben M'Barek, S., Gohari, A.M., Jashni, M.K., Stergiopoulos, I., Kema, G.H.J. y de Wit, P. 2011. Horizontal gene and chromosome transfer in plant pathogenic fungi affecting host range. *FEMS Microbiol. Rev.* 35: 542-554.
- Merezhovsky, K.S. 1909. The theory of two plasms as the basis of symbiogenesis: A new study on the origins of organisms. *Proc. Stud. Imperial Kazan Univ.*. Publishing office of the Imperial University (en ruso)
- Moran, N.A. y Jarvik, T. 2010. Lateral transfer of genes from fungi underlies carotenoid production in Aphids. *Science* 328: 624-627.
- Moreira, D. y López García, P. 1998. Symbiosis between methanogenic archaea and δ -proteobacteria as the origin of eukaryotes: The syntrophic hypothesis. *J. Mol. Evol.* 47: 517-530.
- Moya, A. y Peretó, J. 2011. *Simbiosis. Seres que evolucionan juntos*. Ed. Síntesis, SESBE, Spain.
- Nolte, A. W. y Tautz, D. 2010. Understanding the onset of hybrid speciation. *Trends Genet.* 26: 54-58.
- Novakova, E. y Moran, N.A. 2012. Diversification of genes for carotenoid biosynthesis in Aphids following an ancient transfer from a Fungus. *Mol. Biol. Evol.* 29: 313-323.
- Pala, I., Coelho, M.M. y Scharl, M. 2008. Dosage compensation by gene-copy silencing in a triploid hybrid fish. *Current Biol.* 18: 1344-1348.
- Pala, I., Scharl, M., Brito, M., Vacas, J.M., Coelho, M.M. 2010. Gene expression regulation and lineage evolution: The North and South tale of the hybrid polyploid *Squalius alburnoides* complex. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 277: 3519-3525.
- Pelletreau, K.N., Bhattacharya, D., Price, D.C., Worful, J.M., Moustafa, A. y Rumpho, M.E. 2011. Sea slug kleptoplasty and plastid maintenance in a Metazoan. *Plant Physiol.* 155: 1561-1565.
- Pierce, S.K., Fang, X., Schwartz, J.A., Jiang, X., Zhao, W., Curtis, N.E., Kocot, K.M., Yang, B. y Wang, J. 2012. Transcriptomic evidence for the expression of horizontally transferred algal nuclear genes in the photosynthetic sea slug, *Elysia chlorotica*. *Mol. Biol. Evol.* 29:1545-1556.
- Puigbò, P., Wolf, Y. y Koonin, E.V. 2010 The tree and net components of Prokaryote evolution. *Genome Biol. Evol.* 2: 745-756.
- Ragan M.A. 2001. Detection of lateral gene transfer among microbial genomes. *Current Opinion Genet. Developm.* 11: 620-626-
- Rest, J.S. y Mindell, D.P. 2003. Retroids in Archaea: Phylogeny and lateral origin. *Mol. Biol. Evol.* 20: 1134-1142.
- Reynaud, E.G. y Devos, D.P. 2011 Transitional forms between the three domains of life and evolutionary implications. *Proc. R. Soc. Lond. B* 278: 3321-3328.
- Ribeiro, S. y Golding, G.B. 1998. The mosaic nature of the eukaryotic nucleus. *Mol. Biol. Evol.* 15: 779-788.
- Rivera, M.C. y Lake, J.A. 2004 .The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes. *Nature* 431: 152-155.
- Robalo, J.I., Sousa Santos, C., Levy, A. y Almada, V.C. 2006. Molecular insights on the taxonomic position of the paternal ancestor of the *Squalius alburnoides* hybridogenetic complex. *Mol. Phyl. Evol.* 39: 276-281.
- Rodélsperger, C. y Sommer, R.J. 2011. Computational archaeology of the *Pristionchus pacificus* genome reveals evidence of horizontal gene transfers from insects. *BMC Evol. Biol.* 11: 239.
- Rumpho, M.E., Worful, J.M., Lee, J., Kannan, K., Tyler, M.S., Bhattacharya, D., Moustafa, A. y Manhart, J.R. 2008. Horizontal gene transfer

- of the algal nuclear gen psbO to the photosynthetic sea slug *Elisya chlorotica*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105: 17867-17871.
- Seehausen, O. 2004 Hybridization and adaptive radiation. *Trends Ecol. Evol.* 19: 198-207
- Schwenk, K., Brede, N. y Streit, B. 2008. Introduction. Extent, processes and evolutionary impact of interspecific hybridization in animals. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 363: 2805-2811.
- Sorek, R., Zhu, Y., Creevey, C.J., Francino, M.P., Bork, P. y Rubin, E.M. 2007. Genome-wide experimental determination of barriers to horizontal gene transfer. *Science* 318: 1449-1452.
- Stace, C.A. 1975 *Hybridization and the Flora of the British Isles*. Academic Press, London.
- Stöck, M., Ustinova, J., Betto-Colliard, C., Schartl, M., Moritz, C. y Perrin, N. 2012. Simultaneous Mendelian and clonal genome transmission in a sexually reproducing all-triploid vertebrate. *Proc. R. Soc. Lond. B* 279: 1293-1299.
- Syvänen, M. 1985. Cross-species gene transfer: Implications for a new theory of evolution. *J. Theor. Biol.* 112: 333-343.
- Vollmer, S.V. y Palumbi, S.R. 2002. Hybridization and evolution of reef coral diversity. *Science* 296: 2023-2025.
- Williams, D., Fournier, G.P., Lapierre, P., Swithers, K.S., Green, A.G., Andam, C.P. y Gogarten, J. P. 2011. A rooted Net of life. *Biol. Direct* 6: 45.
- Woese, C.R., Kandler, O. y Wheelis, M. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 4576-4579.
- Zillig, W., Klenk, H.-P., Palm, P., Pühler, G., Gropp, F., Garrett, R.A. y Leffers, H. 1989. The phylogenetic relations of DNA-dependent RNA polymerases of archaeobacteria, eukaryotes, and eubacteria. *Can. J. Microbiol.* 35: 73-80.
- Zinder, N.D. y Lederberg, J. 1952. Genetic exchange in *Salmonella*. *J. Bacteriol.* 64: 679-699.

Información del Autor

L. Boto López es Científico Titular en el Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Formado en Biología del Desarrollo y Biología celular y Molecular es Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Madrid con una tesis acerca de la modificación epigenética del desarrollo de *Dictyostelium discoideum* por agentes químicos. Tras desarrollar un trabajo postdoctoral en secuenciación de genes productores de antibióticos en *Streptomyces* se incorporó al Departamento de Investigación de Antibióticos Farma donde prosiguió estudios de genes productores de antibióticos e inició estudios de clonaje y expresión de genes humanos de interés industrial (enzima amidante de neuropéptidos, apolipoproteína B100). Desde su incorporación al Museo viene trabajando en el desarrollo de marcadores moleculares y aplicación de técnicas de biología molecular a diferentes estudios de microevolución, parentesco y conservación de especies aunque mantiene un interés permanente en la evolución microbiana y en los mecanismos moleculares que pueden conducir a la aparición de novedades evolutivas o a la adaptación.

COMENTARIOS DE LIBROS



“DARWIN Y EL REDUCCIONISMO BIOLÓGICO. LA SOLUCIÓN EMERGENTISTA”

de Leandro Sequeiros

Bubok publicaciones, Córdoba, 2012.

Comentado por

María Dolores Prieto Santana.

Antropóloga. Sevilla.

Avicena 33, 5º 2. 41009 Sevilla

¿Qué es el ser humano? Esta pregunta que Kant considera la radical en la filosofía sigue vigente en las ciencias de la naturaleza. Una de las posibles respuestas, forma parte de este libro. La emergencia de la antropología como ciencia en el siglo XVIII llevó aparejada una visión reduccionista del ser humano. La anquilosada máquina humana de Descartes o del barón d'Holbach siguen formando parte de la herencia filosófica del siglo XXI.

En 1928, Max Scheler publicaba el ensayo “El puesto del hombre en el cosmos” que marca el

inicio de la llamada Antropología Filosófica (Sequeiros. L. *¿Quiénes somos nosotros? Antropología filosófica*. Bubok Public., Madrid, 2010). ¿Cuál es la ubicación de la persona humana en nuestro tiempo? ¿Es el ser humano un animal más? ¿Es la cultura una prolongación de la biología, como opinan Richard Dawkins y los filósofos y científicos reduccionistas? ¿Fue Darwin siempre reduccionista? ¿Es el viejo dualismo la respuesta adecuada? ¿Existen otras posibilidades? ¿Cómo explica la emergencia de la ética, los valores, el amor, cultura, la dimensión espiritual del ser humano, la libertad?

La publicación en los años 60 del ensayo “El mono desnudo” del zoólogo Desmond Morris abrió una brecha en la interpretación de la especie humana. Los estudios de etología comparativa con primates llevaron a la conclusión de que los humanos apenas nos diferenciamos de los animales. Este reduccionismo biologicista prendió en la comunidad científica del último tercio del siglo XX y atraviesa el siglo XXI. Los ensayos de Richard Dawkins van más allá y pretende mostrar la incompatibilidad de la ciencia y la religión.

¿Cómo establecer puentes entre filósofos, científicos y teólogos para llegar a una explicación convincente, no reduccionista ni dualista de la singularidad humana? Este va a ser el reto de este ensayo. Mostramos que Darwin no era tan darwinista como parecía. Pero los seguidores de Darwin no se dieron cuenta y optaron por un reduccionismo biológico al describir al ser humano. Y luego nos adentramos en los nuevos paradigmas de la biología teórica para mostrar que la epigenética, el emergentismo, la teoría de sistemas y las teorías de complejidad permiten proponer una alternativa al reduccionismo y al dualismo antropológico. Y terminamos presentando algunas propuestas de Stuart Kauffman, que desde la racionalidad científica abre nuevos campos para una visión unitaria del ser humano.

El punto de partida debe ser Darwin. Por lo general, los científicos y los filósofos han considerado a Charles Darwin (1809-1882) como el paradigma del materialismo biológico, y por ello, opuesto a una visión humanista y religiosa del ser humano. Pero ¿es así? Recientemente los estudiosos empiezan a considerar que la mente de Darwin fue madurando con el tiempo. Y

a partir de 1869, diez años después de la primera edición de *El Origen de las Especies por la Selección Natural*, empezó a incorporar otros elementos en su síntesis. Recuperar la imagen de un Darwin más abierto y menos reduccionista es una de las tareas de la investigación sobre el ser humano. En *El Origen de las especies por la selección natural* (1859), Darwin orilló delicadamente el espinoso asunto de las raíces de la humanidad. Solo le dedica una frase: "Se hará la luz sobre el origen del hombre y su historia". Años más tarde, las ideas de Darwin sobre la condición humana están sustancialmente en dos de sus obras: *La descendencia del hombre y la selección sexual* (1871) y *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales* (1872).

El paradigma evolutivo aplicado a las raíces de la humanidad dio lugar a enconadas controversias en todo el mundo. El evolucionismo aplicado al ser humano, parecía escandaloso, denigrante a la dignidad humana y contradictorio con las enseñanzas bíblicas y de las iglesias cristianas. Pero los argumentos evolucionistas eran muy débiles. Apenas existían documentos fósiles de ese "missing link" (el eslabón perdido) que demostrase el parentesco evolutivo entre hombres y primates.

A lo largo de siglo XIX, tanto la geología como la morfología comparada van aportando pruebas cada vez más evidentes de la unidad evolutiva del mundo de la vida, y, por tanto, el parentesco entre las diferentes especies vivas, imponiéndose poco a poco el paradigma de la evolución, aunque no siempre se entendiera de la misma manera.

El libro sobre *La Expresión de las emociones...* (1872) iba a ser solamente un capítulo de *El origen del hombre* (1871). Este libro es el germen de la moderna *etología* (ciencia del comportamiento animal y humano). Las ideas de Darwin, por el carácter eminentemente *materialista*, la supuesta negación de la *creación divina y la providencia* y la negación de un principio espiritual en el hombre (el alma) fueron criticadas por las iglesias, tanto católicas como protestantes.

La aportación de Darwin al proceso de explicación del proceso evolutiva con la teoría de la *selección natural* constituyó la pieza clave para la interpretación del origen de los seres vivos, convirtiéndose la fecha de su teorización en un antes y un después en la historia de la Antropología físico-biológica y en la comprensión del ser humano en general.

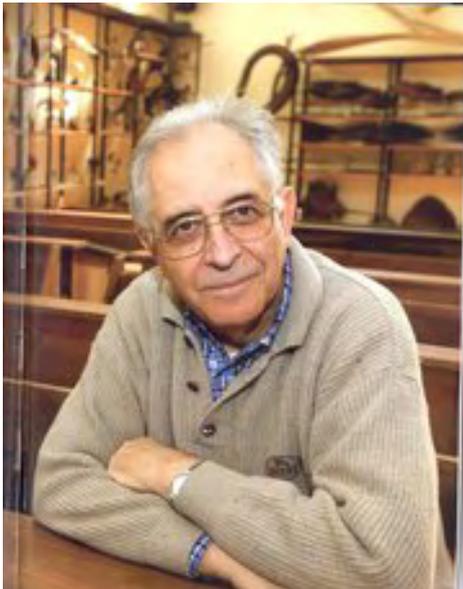
No es de extrañar que este cambio de paradigma, fuera visto como una seria amenaza a la *cosmovisión religiosa judeocristiana*, puesto que suponía romper con la hasta entonces imperante concepción de una relación milagrosa de Dios respecto al mundo, y propugnar una consecuente autonomía de las leyes del universo, no necesitado, por tanto, de la intervención directa y permanente de Dios para ir configurando el mundo en su admirable pluriformidad y orden.

No es, por tanto, extraño que el planteamiento darwinista tuviera en sus comienzos una oposición dura, visceral y sistemática, desde múltiples ámbitos de la sociedad, en especial desde el estamento eclesial, siendo paradigmático el enfrentamiento verbal tenido en 1860 (al año siguiente de la publicación del *Origen de las especies* de Charles Darwin), en la reunión de la Asociación Británica para el Progreso de la Ciencia, entre el obispo Samuel Wilberforce y el seguidor incondicional de Darwin, Thomas Henry Huxley.

El libro plantea una hipótesis sugerente: ¿existió un segundo Darwin menos reduccionista? La investigación actual basada en los textos inéditos o menos conocidos de Darwin (<http://darwin-online.org.uk/>) depara sorpresas. Es más: sospechamos que muchas lecturas de Darwin estaban sesgadas por prejuicios ideológicos interesados de tipo ultradarwinista. El autor postula que Darwin, en los últimos 15 años de su vida, ya no era totalmente darwinista. Es decir, flexibilizó su postura original que consideraba a la Selección Natural el único factor generador de cambio orgánico.

Muchos autores han querido ver, partir de su estudio sobre *La Variación de las plantas y de los animales bajo la domesticación*, publicado en 1869 y no traducido al castellano hasta hace muy poco tiempo, un guiño a las ideas lamarckianas. Las ideas sobre pangénesis y sobre la herencia de los caracteres bajo el influjo del medio ambiente están siendo reivindicadas.

Los seguidores rígidos de Darwin no dudaron en aceptar que solo la Selección Natural explica la aparición del ser humano. Se incluyen aquí todas las posturas que afirman que hay una total continuidad entre lo animal y lo humano, entre lo biológico y lo cultural. Es más: lo cultural está determinado por lo biológico. Se pueden diferenciar dos escuelas de pensamiento: por una parte, la que puede etiquetarse como la del *instintivismo etológico*. para esta corriente es lo instintivo (explicado de forma darwinista reduccionista en 1871 y recogido por Sigmund Freud) lo característico de los seres vivos superiores. Esto explica perfectamente el comportamiento de los mamíferos, de los primates y de los humanos. Aquí encontramos a Desmond Morris [*El mono desnudo* (1962, 1968, español), *El Zoo humano* (1969,



Leandro Sequeiros

1972 español)) y a Konrad Lorenz [*Sobre la agresión: el pretendido mal* (1963), *El comportamiento animal y humano*, Barcelona, 1976].

Por otra parte, la postura del *geneticismo sociobiológico*, que defiende que los genes de los humanos (que son casi los mismos que los de los primates) están determinados las líneas de comportamiento individual y social tiene seguidores importantes. Aquí encontramos autores como Edward O. Wilson [*Sociobiología. La nueva síntesis*, Omega, 1980; *La Naturaleza humana*, México, 1980]; Richard Dawkins [*El gen egoísta*, Barcelona, 1985; *El relojero ciego* 1988; *Destejiendo el arco iris*, 2001; *El espejismo de Dios*, 2008]; Juan L. Arsuaga [(del equipo de Atapuerca): *La especie elegida* (1998), *El collar del Neanderthal* (1999), *El enigma de la esfinge* (2001), *Amalur: del átomo a la mente* (2002), *Atapuerca y la evolución humana* (2004)].

Frente a las posturas reduccionistas, la tradición filosófica ha reivindicado otras posturas a las que etiquetamos como posturas antirreduccionistas, y que pretenden salvar la *singularidad humana*. Frente al reduccionismo biologicista defienden y justifican que hay una discontinuidad real entre lo animal y lo humano, entre

lo natural y lo adquirido, entre la biología y la cultura. Pero existen muchas explicaciones diferentes y grados muy distintos de discontinuidad. Coinciden en que existe una singularidad que lo diferencia al humano no solo cuantitativa sino cualitativamente de los animales.

Las filosofías y teologías cristianas, así como los *creacionistas* han insistido en que el ser humano está constituido por dos principios, uno material, y otro espiritual que procede directamente de un acto creador extraordinario de Dios. Son las posturas *dualistas*. Para ellas hay una ruptura real entre lo animal y lo humano, entre mente y cerebro, entre cuerpo y alma.

Pero existe otra posibilidad que está siendo explorada por filósofos y teólogos: la emergentista. Postulan los emergentista que existe una discontinuidad pero no ruptura entre lo animal y lo humano. Hay una inflexión cualitativa. Estos autores [Pierre Teilhard de Chardin, Karl Rahner, Xavier Zubiri, Pedro Laín Entralgo, Francisco J. Ayala, Stuart Kauffman ..] se apoyan en los modelos *emergentistas* que tienen su fundamento, entre otras, en la Teoría General de los Sistemas de Ludwig von Bertalanffy y en las teorías de la complejidad y la epigenética, la biología del desarrollo y la morfología construccional.

En el curso de la evolución humana (que se explica de modo "natural") tiene lugar la *emergencia* de novedad que supera lo puramente instintivo, genético y biológico. Pero para los autores citados, la naturaleza humana ya no es meramente naturaleza biológica. Es más que simple biología. Esta postura emergentista abre nuevas perspectivas en una interpretación del ser humano que puede ser aceptada por la comunidad científica, los filósofos y los teólogos.

Pero no pensemos que estas ideas son totalmente nuevas. Los intentos tendentes a fundamentar el comportamiento humano, y especialmente la ética, en los supuestos biológicos arrancan de mucho tiempo atrás. El profesor Francisco J. Ayala ha sistematizado las diversas corrientes que desarrollan estas ideas y nos permiten situar las reflexiones que siguen en su justa dimensión. Ayala diferencia dos problemas diferentes: primero: ¿está la capacidad ética de los seres humanos determinada por la naturaleza biológica?; y segunda: ¿están los sistemas o códigos de normas éticas determinados por la naturaleza biológica humana? Esta distinción es importante pues la necesidad de aceptar valores éticos no determina necesariamente cuáles sean los valores éticos a seguir. Dentro del paradigma evolucionista, la pregunta se hace más determinante: ¿cuándo y cómo surge la capacidad ética en el curso de la evolución y por qué se da en los seres humanos pero no en otros animales?

Uno de los objetivos del ensayo que comentamos pretende "reinventar" a Darwin. Es decir, reencontrarlo desde otros lugares epistemológicos. Para el paleontólogo Stephen Jay Gould, Darwin es en parte partidario del estado estacionario ambientalista y gradualista, pero hay textos (estudiados por Gould) en los que se manifiesta como partidario de una explicación de la evolución en la que los cambios ambientales van canalizando la direccionalidad de la evolución. Al final del libro, el autor reúne una amplia bibliografía.

Todo el desarrollo del proyecto de investigación *EVOLution-DEVELOpmet* va en esa dirección: la de la canalización de las expresiones de los genes reguladores del desarrollo desde el embrión hasta el adulto. ¿Ha muerto el proyecto darwinista? O, como apunta Gould, ¿tenemos que reinventarlo, recuperar las intuiciones originales enmohecidas por las inclemencias históricas de los científicos, filósofos, teólogos y publicistas?

Desde el punto de vista de este trabajo, los filósofos de la biología y de la paleobiología han de atender más las ideas y propuestas innovadores de Stuart Kauffman. Tal vez sea él quien pueda darnos respuestas a la posibilidad de explicar la hominización acudiendo a mecanismos que trascienden en reduccionismo y el dualismo. El experto en biología teórica norteamericano Stuart Alan Kauffman nació en 1939 y obtuvo los grados de filosofía y física en el Dartmouth College en el año 1960. Su obra fundamental es *Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution* (1993). Poco después, en 1995, publicó *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Por último, en el 2000 aparece su última obra: *Investigations*, donde insiste en los mismos tópicos de su trabajo. En un trabajo de 2006 titulado *Beyond Reduccionism: Reinventing the Sacred* aporta las ideas novedosas.

¿Cómo entender el conjunto del discurso filosófico de Kauffman? ¿Qué causas propone para explicar la emergencia de sistemas biológicos complejos? ¿Hay irreductibilidad entre los distintos niveles emergentes? ¿En qué sentido podemos hablar de novedades emergentes? ¿Qué relación tienen con lo sistémico y la complejidad?

La posición de Kauffman es anti-reduccionista; lo real no puede surgir por mera evolución de sistemas lineales. Para Kauffman la emergencia de la novedad surge de la continuidad y de la interacción sistémica de la materia. Nuevos sistemas producen nuevas formas de realidad. En este sentido la obra de Kauffman se situaría dentro de las líneas tradicionales de la teoría emergentista.

La obra científica de Kauffman se ha centrado en los fundamentos más duros, más mecánicos y físico-químicos, involucrados causalmente en el origen de la vida. Sin embargo, ya desde el principio se manifestó siempre en contra del reduccionismo. Su posición responde al emergentismo, marco teórico hoy en crecimiento, cada vez más participado por físicos y biólogos que abandonan el reduccionismo como doctrina del pasado.

El emergentismo de Kauffman no es "dualismo", sino monismo sistémico que justifica la emergencia de la novedad al combinar la continuidad del proceso evolutivo (que tiene su referencia de partida en el mundo físico) con la génesis evolutiva de nuevas estructuraciones sistémicas que producen las novedades ontológicas. Su emergentismo es sistémico y ontológico. Nos dice Kauffman que "el punto de vista ontológico (en el emergentismo) afirma que nuevas entidades con sus propiedades específicas y sus poderes causales son producidas y son parte de la construcción del universo".

Para Kauffman, la vida no sólo es un nivel de emergencia no reductible a la física por la novedad de sus estructuras autoreproductoras con variabilidad hereditaria por selección darwinista, sino que, además, lo es por suponer una "agencialidad" (una capacidad de seleccionar acciones dirigidas).

Las aportaciones de Kauffman no niegan el paradigma neodarwinista, sino que lo completan. Su posición es antireduccionista, lo real no surge por la mera evolución de los sistemas lineales. La estabilidad de los sistemas biológicos es dinámica y fluctuante, es la base de la evolución en busca de nuevas formas de organización. La obra de Kauffman completaría el neodarwinismo en el sentido que la selección natural elige aquellas estructuras de orden ya ensayadas por la naturaleza de acuerdo con principios ontológicos previos a la misma selección.

Dentro de esta misma explicación emergentista, no monista, más allá del reduccionismo, nos aparece de nuevo la relación mente-cerebro, es decir la emergencia de la conciencia humana. En el mundo inanimado se produjo la emergencia de la vida, en el mundo animal la emergencia de la sensibilidad y, posteriormente, en los humanos la emergencia de la conciencia.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

eVOLUCIÓN es la revista electrónica de la **Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)** que publica artículos y notas sobre cualquier aspecto de la biología evolutiva, así como artículos de divulgación o revisión invitados, artículos de opinión, entrevistas a personalidades relevantes de la Biología Evolutiva, noticias (congresos, cursos, etc.), crítica de libros, apuntes de cómo se ve la evolución fuera del ámbito científico, etc.

eVOLUCIÓN no es una revista científica por lo que no se consideran para su publicación trabajos científicos con datos originales. La revista publica como *Artículos* textos originales que no excedan las 20 páginas impresas (aunque podrán considerarse trabajos más extensos) que traten sobre temas actuales relacionados con la evolución. El estilo debe de ser claro y conciso y la presentación atractiva incluyendo tablas y figuras abundantes. En su sección de *Notas Breves* tienen cabida textos de menor extensión (tres páginas), en los que se informe brevemente de una investigación original, de alguna técnica nueva o de algún descubrimiento interesante en cualquier rama de la Biología Evolutiva. Finalmente, la sección de *Forum* publica textos cuyo principal objetivo es facilitar la discusión y crítica constructiva sobre trabajos o temas importantes y de actualidad, así como estimular la presentación de ideas nuevas.

Los originales recibidos serán sometidos a revisión con la participación de al menos dos revisores externos especializados cuya misión será la de sugerir propuestas encaminadas a mejorar el trabajo, tanto en el fondo como en la forma. Los textos deberán ser originales. Sus autores se comprometen a no someterlos a publicación en otro lugar, adquiriendo la SESBE, como editora de los mismos, todos los derechos de publicación sobre ellos.

Los **trabajos** deberán ir escritos en castellano a doble espacio, con márgenes de 3 cm. y deberán incluir en este orden: Página de título (que incluya el título, los nombres completos de los autores y la dirección de cada uno de ellos), Resumen con Palabras Clave (incluyendo una versión en inglés), Texto, Agradecimientos y Referencias bibliográficas. Las Tablas, Figuras, Apéndices y Pies de Figuras irán, en su caso, al final en hojas separadas. No se aceptarán notas a pie de página. Todas las páginas deberán ir numeradas (esquina superior derecha).

En el texto las referencias se ordenarán por orden cronológico: Darwin *et al.* (1856), Darwin y Lamarck (1857) o al final de la frase (Darwin *et al.* 1856; Darwin y Lamarck 1857).

La **lista de referencias** bibliográficas se encabezará con el epígrafe "Referencias". Los trabajos se ordenarán alfabéticamente y para cada autor en orden cronológico (el más reciente el último). Los nombres de las revistas irán en cursiva y se abreviarán. Se incluyen a continuación algunos ejemplos.

Zahavi, A. 1975. Mate selection-a selection for a handicap. *J. Theor. Biol.* 53: 205-214.

García-Dorado, A., López-Fanjul, C. y Caballero, A. 1999. Properties of spontaneous mutation affecting quantitative traits. *Genet. Res.* 74: 341-350.

Leakey, L.S.B., Tobias, P.V. y Napier, J.R. 1964. A new species of the genus *Homo* from Olduvai gorge. *Nature* 209: 1279-1281.

Hamilton, W.D., Axelrod, R. y Tanese, R. 1990. Sexual reproduction as an adaptation to resist parasites. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 3566-3573.

Moreno, J. 1990. Historia de las teorías evolutivas. Pp. 27-43. En: Soler, M. (ed.), *Evolución. La Base de la Biología*. Proyecto Sur, Granada.

Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* John Murray, London.

Las **figuras y tablas** deberán ir acompañadas, en hoja aparte, por los pies correspondientes. Se pueden incluir también fotografías en blanco y negro o color de buena calidad, en cuyo caso se indicarán los autores de las mismas. Las fotografías se enviarán como archivos de imagen independientes, en formato TIFF, JPG o BMP con una resolución mínima de 300 pp. No se aceptan figuras insertadas en archivos de texto.

Al final del texto se incluirá un breve apartado sobre **Información de los autores**.- un párrafo de como máximo 100 palabras (150 para 2 o más autores) describiendo brevemente los detalles e intereses científicos de los autores. Este texto no sustituye a los agradecimientos, sino que pretende ofrecer información adicional a los lectores sobre la actividad y objetivos de los responsables del trabajo.

Una copia del manuscrito en soporte informático (preferentemente archivos de Word para Windows), deberá remitirse a los editores por correo electrónico:

José Martín Rueda y Pilar López Martínez

e-mail: jose.martin@mncn.csic.es

pilar.lopez@mncn.csic.es

EVOLUCIÓN

© 2012



ISSN 1989-046X