

EVOLUCIÓN

VOLUMEN 9(2) 2014



Ch. Darwin
Mund. 7^o 1874.

PENSANDO DESDE LA EVOLUCIÓN, por A. MOYA — 3

ARTÍCULOS:

FONTDEVILA, A.

El largo camino de la genética de poblaciones en España: Una retrospectiva — 7

PÉREZ RAMOS, H.

El altruismo desde el punto de vista de nuestros memes — 27

MORENO, J.

La naturaleza no enseña nada: Los errores del instruccionismo en el estudio de la conducta y de la adaptación — 61

LA OPINIÓN DEL EVOLUCIONISTA:

CARDELÚS, B.

La inteligencia de los genes — 75

FONTDEVILA, A.

¿La inteligencia de los genes? Una réplica darwinista — 80

DIVULGACION:

BOTO, L.

De la necesidad o no de una nueva síntesis evolutiva — 86

NORMAS DE PUBLICACIÓN — 88



¡¡LA eVOLUCIÓN SIN CORRUPCIÓN!!

Editores de eVOLUCIÓN

José Martín y Pilar López

Junta Directiva de la SESBE

Presidente: Andrés Moya
Vicepresidente: Santiago Merino
Secretario: Toni Gabaldón
Tesorera: Susanna Manrubia
Vocales: Inés Alvarez
Camilo José Cela Conde
Jordi García
Arcadi Navarro
Antonio Rosas
Cori Ramón

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.

© 2014 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

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

Vivimos tiempos difíciles para la ciencia y la sociedad en general, donde a la falta de recursos, se une el que unos pocos, o no tan pocos, corruptos intenten aprovecharse de la situación para su propio beneficio. Por el contrario, la eVOLUCIÓN no se corrompe y está de nuevo fiel a sus objetivos y a su cita ofreciendo nuevos contenidos evolutivos que esperamos sean de interés general.

Como siempre, comenzamos este número con la carta del presidente de la SESBE (*Andrés Moya*) a los socios. Entre las novedades que se comentan, se aporta más información sobre el próximo V Congreso de la SESBE en Murcia al que os invitamos a acudir.

Continuamos, una vez más, con una serie de interesantes *artículos* evolutivos que tratan sobre:

- 1) la historia del nacimiento y desarrollo de la Genética de Poblaciones en España.
- 2) una explicación evolutiva sobre la existencia del altruismo en nuestra especie.
- 3) Una aclaración sobre un viejo error del instruccionismo al considerar la conducta adaptativa como resultado del aprendizaje directo del medio, ya que la naturaleza como conjunto de procesos físico-químicos sin intención alguna, ni es sabia ni enseña nada a las criaturas.

Incluimos además en la sección de "*Opinión del Evolucionista*" una nueva sugerencia sobre como la evolución se produciría por la acción directa "inteligente" de los genes, mientras que la selección natural jugaría un papel secundario. A las ideas de este artículo le sigue la correspondiente réplica basada en los hechos científicos conocidos proporcionados por la Teoría Evolutiva.

Agradecemos a los autores, revisores y lectores de eVOLUCIÓN por su interés en contribuir a la discusión, difusión y, sobre todo, al avance del conocimiento científico sin corrupción sobre la evolución.

José Martín y Pilar López

Editores de eVOLUCIÓN



Pensando desde la evolución

Estimados Socios de la SESBE:

La crisis está afectando al normal desarrollo de la ciencia en nuestro país. En realidad debería indicar que la ciencia, como bien público, debe recibir particular atención por parte de quien ostenta el poder ejecutivo, a saber: el Gobierno. Por lo tanto si hablamos de una crisis sobrevenida, también hay que manifestar que el Gobierno debe contribuir y promover, dada su responsabilidad, al sostenimiento de todo aquello que entra bajo el paraguas del bien público, tratando de minimizar el impacto de la misma. Diferentes sociedades científicas y, en particular, la COSCE, hemos denunciado los efectos perversos y a largo plazo que va a tener la desnutrición pública de la ciencia en España. No obstante no hemos de echar todos los balones fuera y asumir nuestra propia responsabilidad para intentar contrarrestar semejante inanición. Cada uno de nosotros tiene el compromiso, basado en la certeza de que la ciencia es un eje fundamental del desarrollo económico y el bienestar, de alimentarla con los recursos de que disponga.

Los recursos para alimentar la ciencia son muchos. Desde luego los personales son fundamentales, pero también los son los colectivos, los que se organizan alrededor de los centros de investigación y las Universidades así como las sociedades científicas. La SESBE agrupa a un colectivo amplio de investigadores, docentes y estudiosos de la evolución biológica donde el puro conocimiento y ansia por dar explicación del mundo de lo vivo es uno de sus ejes motores. Hemos de preservarlo a toda costa, con denodado esfuerzo en los momentos más complicados. Es por ello que os pido, estimados socios, un esfuerzo especial de perseverancia en vuestro quehacer científico, y que traigáis vuestros resultados al foro de la SESBE.



Andrés Moya, Presidente de la SESBE

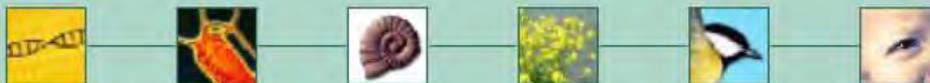
El **5º congreso de la SESBE**, bajo la presidencia del Prof. José Serrano Marino, tendrá lugar en Murcia, del 18 al 21 de Enero de 2016 y está organizado por el Dpto. de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia. Toda la información sobre el mismo la podéis encontrar en: http://eventos.um.es/event_detail/1710/detail/50-congreso-de-la-sociedad-espanola-de-biologia-evolutiva-sesbe.html

Desde la web de la SESBE emplazaremos un acceso al mismo, también.

Estamos montando un congreso que sea lo más económico posible, porque deseamos fervientemente que acudáis a él con vuestros resultados. Esperamos, del mismo modo, poder distribuir en el congreso el nuevo libro de la colección de divulgación.

Un cordial saludo

Andrés Moya
Presidente de la SESBE



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 15 ó 30 euros (según sea miembro estudiante u ordinario) en la siguiente cuenta corriente de **Bankia**:

Número de cuenta: 2038 6166 21 3000095394
Código IBAN: IBAN ES33 2038 6166 2130 0009 5394
Código BIC (SWIFT): CAHMESMMXXX

- 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:

Dra. Susanna Manrubia
Científico Titular de Organismos Públicos de Investigación
Centro de Astrobiología (INTA-CSIC)
Ctra. de Ajalvir km. 4
28850 Torrejón de Ardoz, Madrid

e-mail: tesoreria@sesbe.org
Fax: +34 91 520 6424

- 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.



5º Congreso de la Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)

Del 18-01-2016 al 21-01-2016

Centro Social Universitario (Murcia)

Organizado por Dpto. Zoología y Antropología Física, Universidad de Murcia

Estimados miembros de la SESBE:

Es un placer anunciaros en nombre del Comité Organizador, que el V Congreso de nuestra sociedad tendrá lugar en Murcia, entre el lunes 18 de enero (por la tarde) y el mediodía del jueves 21 del 2016. Así pues, tenemos un año por delante para ir preparando este evento que tanto nos une en los avances del conocimiento y en el estrechamiento de nuestras relaciones científicas y de amistad. Es también la ocasión propicia para la celebración de nuestra Asamblea.

Ya estamos trabajando en la elección de los conferenciantes que abrirán las sesiones plenarias de mañana y tarde, así como en los demás aspectos que afectan a la organización. Tenemos presente el compromiso manifestado en la Asamblea de Barcelona 2013, de reducir al máximo la cuota de inscripción, particularmente la que se pide a becarios y estudiantes con menos recursos. El único factor que limite esa reducción será el coste de los conferenciantes invitados.

En próximas actualizaciones de la página Web del congreso iremos incluyendo detalles como la organización de las sesiones, las cuotas de inscripción, etc. Mientras tanto, os deseamos un buen y fructífero 2015 y os animamos a incluir este evento en vuestra agenda de tareas ineludibles ¡Os esperamos!

Teléfono de contacto: 868884206

http://eventos.um.es/event_detail/1710/detail/5o-congreso-de-la-sociedad-espanola-de-biologia-evolutiva-sesbe.html

El largo camino de la genética de poblaciones en España: una retrospectiva

Antonio Fontdevila

Departament de Genètica i Microbiologia, Universitat Autònoma de Barcelona.
E-mail: antonio.fontdevila@uab.es

eVOLUCIÓN 9(2): 7-25 (2014).

“Se ha dicho hartas veces que el problema de España es un problema de cultura. Urge, en efecto, si queremos incorporarnos a los pueblos civilizados cultivar intensamente los yermos de nuestra tierra y de nuestro cerebro, salvando para la prosperidad y enaltecimiento patrios todos los ríos que se pierden en el mar y todos los talentos que se pierden en la ignorancia.”

Santiago Ramón y Cajal

Los lejanos principios

España ha estado siempre en la periferia del círculo científico. Únicamente algunos oasis científicos han salpicado tradicionalmente el gran desierto de nuestra ciencia. Uno de ellos, quizás el más ejemplar, es el que protagonizó nuestro único premio nobel, Santiago Ramón y Cajal. Así lo reconoció en la cita que inicia este escrito, donde además denuncia nuestra trágica tendencia a que nuestros talentos se pierdan en la ignorancia, como nuestros ríos se pierden en el mar.

Sin embargo, algunos intentos para terminar con esta trágica tendencia surgen de vez en cuando en nuestra historia. En 1907 aparece la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), la cual representa un avanzado proyecto para mejorar la ciencia y la educación en nuestro país. Entre sus muchas iniciativas está la institución de un sistema de pensiones para enviar a jóvenes científicos a formarse a centros extranjeros de excelencia científica. Algo que ahora lo vemos como una norma general, casi imprescindible, pero que en la primera década del siglo XX era una rareza. La JAE es en realidad digna descendiente de la Institución Libre de Enseñanza, fundada por Francisco Giner de los Ríos en 1876, un filósofo y pedagogo que fue separado de la universidad junto con otros profesores por enseñar doctrinas consideradas anticatólicas, entre las cuales se contaba el Darwinismo. El intento de dicha institución de reformar la educación y enseñar los valores de la democracia liberal, la igualdad social y la ciencia moderna fue abortado por el conservadurismo político, pero no así sus ideas. De modo que la generación de 1880, a la que pertenecía Ramón y Cajal, hizo posible la creación de la JAE, de la cual fue presidente

fundador nuestro premio nobel. Otra importante figura de este periodo, denominado por algunos la era de plata de la ciencia española, fue Ignacio Bolívar (Fig. 1). Entomólogo de formación y catedrático de Zoología desde 1877 participó en la fundación de la estación de ciencias marinas de Santander y llegó a director del Museo de Historia Natural de Madrid, lo cual le permitió reorganizar su estructura, estableciendo el Laboratorio de Biología que se convirtió en la cuna de la moderna investigación científica genética en España.

Al panorama desolador de nuestra ciencia no escapa la Genética. La introducción de la genética moderna en España se debe a José Fernández Nonidez, un pensionado, hoy lo llamaríamos becario, de la JAE. En 1917 se trasladó a la Universidad de Columbia, en Nueva York, contactando con Thomas Hunt Morgan en la famosa “fly room”, donde, como es bien sabido, se estaban elaborando las bases de la genética, en particular la realidad física de los genes en los cromosomas, por lo que Morgan consiguió su Premio Nobel. Allí, Nonidez aprendió los métodos de investigación con *Drosophila* y obtuvo una sólida formación genética. A su regreso en 1920 empezó a impartir un curso de Genética que fue el germen de sus libros: *La Herencia Mendeliana: Introducción Al Estudio de la Genética* (1922) y *Variación y Herencia en los Animales Domésticos y las Plantas Cultivadas* (1923), de gran influencia no solo en España sino en todo el mundo hispano. Sin embargo, Nonidez dejó de interesarse por la genética a favor de la histología y se trasladó a Estados Unidos, con lo que su influencia en la difusión de la genética terminó aquí.



Fig. 1. Ignacio Bolívar y Urrutia (1850-1944) director del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. Una vista actualizada del Palacio de las Artes e Industrias, que alberga actualmente al Museo Nacional de Ciencias Naturales y la Escuela Técnica de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Tomado de Martínez-Arias, A.



Fig. 2. Antonio de Zulueta (1885-1971).
Tomado de <http://www.residencia.csic.es/jae/protagonistas/51.htm>

La verdadera difusión de la genética experimental en España se debe a Antonio de Zulueta (Fig. 2), maestro de Nonídez. Licenciado en Ciencias Naturales, su interés inicial hacia la parasitología y la protozoología fue derivando hacia la genética de modo que el curso que impartía en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (Fig. 1) junto con las investigaciones de su laboratorio llegaron a tener una gran influencia en la formación genética de los licenciados en Ciencias Naturales, ingenieros agrónomos, veterinarios, médicos, farmacéuticos y maestros que, como Nonídez, fueron discípulos suyos. Además, Zulueta tradujo muchos tratados

de Genética y Evolución entre los que destaca posiblemente la mejor traducción de El Origen de las Especies (Colección Austral. Espasa Calpe. Madrid 1988), aunque parece que nunca fue un darwinista convencido. También, en unas condiciones bastante precarias, realizó experimentos con *Phytodecta variabilis*, un coleóptero, que mostraron las primeras evidencias de que el cromosoma Y contenía genes dominantes, las cuales merecieron un reconocimiento internacional. Sin embargo, elegir un organismo poco favorable para la experimentación como *Phytodecta*, difícil de cultivar en el laboratorio y con una sola generación anual, condicionaron posiblemente su éxito y su posterior estancamiento (Pinar y Ayala, 2003). Era el momento de *Drosophila* en la genética experimental.

Su contacto con *Drosophila* llegó, aunque tardíamente. En 1930 la Fundación Del Amo le subvencionó una estancia de dos meses en el California Institute of Technology (CalTech), donde acababa de trasladarse Morgan con su equipo. Allí cooperó en el cartografiado cromosómico del gen "light" de *Drosophila*. El reconocimiento internacional de Zulueta se reforzó con esta estancia y en 1932 fue nombrado catedrático de la primera cátedra especializada en genética por la Fundación del Conde de Cartagena dentro de la Academia de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales. Su reconocimiento fue tal que la Rockefeller Foundation estaba dispuesta a financiarle un laboratorio en España cuando estalló la guerra civil en 1936. El exilio forzado, interior y exterior, de muchos científicos desmanteló la incipiente ciencia española. Zulueta fue castigado por su filiación política y por ser pariente de políticos republicanos. Aunque posteriormente pudo continuar enseñando, su carrera como investigador se truncó.

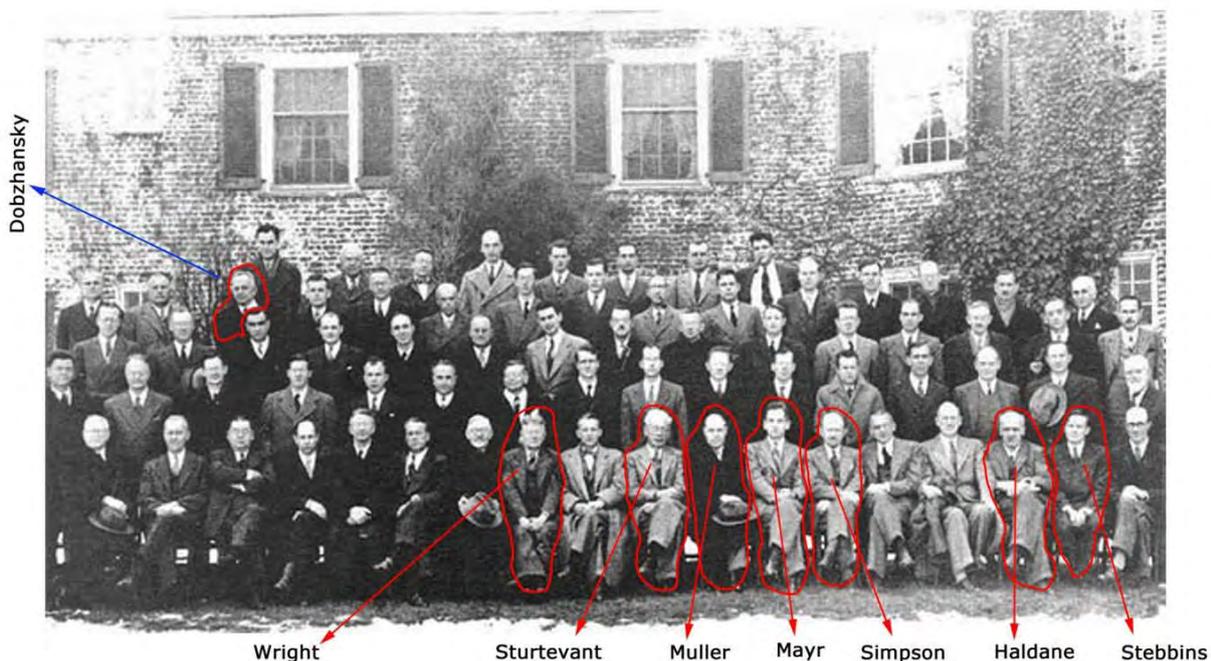


Fig. 3. La Conferencia de Princeton, 1947, para discutir la evolución desde campos muy diversos.

El nacimiento de la genética de poblaciones

Es bien sabido que la incorporación de la genética mendeliana al darwinismo condujo en la década de los 40 del siglo XX a una síntesis, conocida como la Síntesis Moderna, que ha tenido un papel fundamental para la comprensión de la evolución biológica (Fig. 3). La génesis de esta síntesis es el resultado de un largo camino en el que la influencia de los mejoradores de plantas y animales ha sido crucial. Los mejoradores conocían el valor de la selección artificial y como cuantificar sus efectos. De hecho Darwin se inspiró en la selección artificial para elaborar su teoría de la selección natural. No es de extrañar, por tanto, que en los medios agrícolas y veterinarios surgiera muy pronto, en las primeras décadas del siglo XX, un gran interés por la herencia mendeliana. En España, empezaron a impartirse cursos sobre genética en instituciones relacionadas con la agronomía y también aparecieron publicaciones sobre las leyes de Mendel y las técnicas de hibridación.

Era este un momento de grandes debates sobre si la variación continua de los caracteres cuantitativos sobre los que actuaba la selección natural tenían o no una base mendeliana. La biometría era la ciencia que estudiaba dichos caracteres utilizando métodos estadísticos para descifrar la herencia. Estos métodos eran de gran utilidad para los mejoradores para decidir aquellos planes de selección más adecuados. Puesto que la estadística trabaja con grupos de individuos, desde descendencias hasta poblaciones, este enfoque permitía analizar la variabilidad poblacional y los cambios poblacionales debido a la selección o a otras causas. La biometría proporcionaba, por tanto, el análisis de las poblaciones bajo una óptica evolutiva, tal y como el darwinismo requería. Cuando investigadores teóricos como Fisher, Haldane y Wright (Fig. 4) formalizaron la genética de los caracteres cuantitativos mediante modelos mendelianos, el debate entre mendelianos y biométricos se resolvió y nació la genética de poblaciones.



Fig. 4. Fisher, Wright y Haldane.

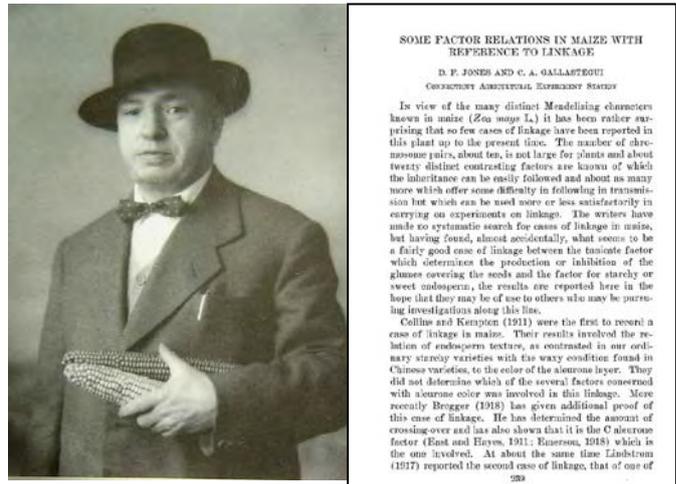


Fig. 5 y 6. Cruz Gallástegui. (Cortesía de Amando Ordás) y Primera página del artículo de Jones y Gallástegui en *The American Naturalist* (vol. 54, 1920, pp. 239-246).

En España los estudios genético-biométricos estaban en manos de algunos agrónomos, aunque su difusión distaba mucho de la alcanzada en otros países. En las universidades la genética estaba integrada en la asignatura de Biología en los planes de estudio del año 1928, mientras que ya en el año 1924 se aprobó que esta materia fuera una asignatura independiente en los planes de ingenieros agrónomos de la Escuela Superior de Madrid. Es evidente que los ingenieros agrónomos contribuyeron tempranamente a la difusión de la genética en nuestro país, y entre ellos cabe mencionar la figura pionera de Cruz Ángel Gallástegui (1891-1960).

Gallástegui (Fig. 5) cursó sus estudios en Francia y Alemania, donde obtuvo una licenciatura en Agronomía. En 1917 llega a Estados Unidos, visita a Thomas H. Morgan quien le recomienda ir a la universidad de Harvard. Allí contacta con Edward M. East, uno de los pioneros de la genética del maíz, quien le recluta y consigue una pensión de la JAE. Poco después East le envía a trabajar con Donald F. Jones, el primero en obtener híbridos de maíz. Gallástegui ayudó a Jones y en la primavera de 1918 sembraron la semilla del primer híbrido doble y obtuvieron, ante su asombro, unas plantas con un gran vigor híbrido que iban a revolucionar la producción de maíz. Jones y Gallástegui publicaron un artículo en *The American Naturalist* (Fig. 6), algo muy raro que en aquella época un autor español apareciera en una revista de tal renombre internacional.

En 1921 regresa a España después de visitar las universidades de Yale y Cornell, donde conoce a R.A. Emerson. Es este un momento crucial en que la JAE planea descentralizar sus centros de investigación y decide fundar la Misión Biológica de Galicia para desarrollar la economía gallega mediante la investigación agraria. Gallástegui es nombrado director de la Misión y desarrolla planes de investigación claves para la economía gallega tales como la obtención de híbridos de



Fig. 7 y 8. Gallástegui y Jones realizando una polinización artificial; Mazorcas de maíz. Dos líneas puras (homocigotos) : A639 (izquierda) y EP42 (derecha), y su híbrido F1 (centro). (Cortesía de Amando Ordás).

maíz, de castaños resistentes a la tinta y estudios cromosómicos de alguna brassicaceas. En todos ellos obtuvo resultados importantes, pero fue la obtención de híbridos de maíz (Fig. 7 y 8) lo que le reportó su fama por ser el primer genético que produjo dobles híbridos en Europa. La obra de Gallástegui en la mejora genética se completó con la creación de un sindicato o cooperativa de productores para hacer llegar a los agricultores estos híbridos tan productivos. Hoy en día que se habla tanto de la dificultad de la transferencia de conocimientos al sector productivo nos asombra la visión de Gallástegui en este sentido.

La labor de genéticos como Zulueta, Nonídez, Gallástegui y otros permitió la introducción en España de la genética moderna que se estaba gestando en los países de investigación avanzada. Estos investigadores fueron patrocinados por la JAE y durante los años 30 se había alcanzado un buen nivel en la mejora genética, lo cual hacía prever un futuro prometedor no solo para la genética básica sino para otras disciplinas derivadas como la genética de poblaciones. La guerra civil truncó este proceso. La JAE desapareció y sus institutos pasaron a formar parte del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el cual mantuvo dichos centros pero con recursos menores y con una falta evidente de científicos jóvenes. El grado de desamparo de la investigación en la posguerra puede ejemplarizarse en el hecho de que se perdieran algunas líneas puras de maíz y se importó semilla híbrida en los años 50 de Francia y los Estados Unidos, a pesar de que la producida en la Misión fue muy bien acogida en Francia. En definitiva, debido al aislamiento de España en la postguerra y la falta de recursos económicos la comunidad científica tuvo que recomponerse de nuevo y en muchos casos empezar de cero, como veremos más adelante.

Los pioneros de escuelas de investigación

Aunque la labor de algunos genéticos españoles de la primera mitad del siglo XX resulta muy encomiable, es difícil reconocer que formaran escuelas de largo alcance, pero su influencia en generaciones futuras no puede obviarse. Por ejemplo, Zulueta tuvo muchos estudiantes pero no consiguió crear una masa crítica de discípulos. Su discípulo con más recorrido y mérito fue Fernando Galán que se hizo famoso por sus estudios sobre la determinación del sexo en la planta *Ecballium elaterium*. La guerra civil coincidió con el momento de mayor productividad y reconocimiento de Galán. En 1936 obtuvo una beca de la Fundación Rockefeller para ir a Caltech a trabajar con Morgan, pero pensó “que su deber patriótico era quedarse en España por si su país le necesitaba”. Haldane visitó a Zulueta y Galán en Madrid y comentó en la revista Nature (20 de febrero, 1937) (Fig. 9) su admiración por la labor de ambos investigadores bajo “condiciones que no son agradables para investigar” y, en sus propias palabras “merece ser recordado, y augura favorablemente para el futuro de la ciencia de la Biología”.

A pesar del truncamiento que supuso la guerra civil en estos investigadores, cabe resaltar que su influencia en investigadores más jóvenes se hizo notar. Un ejemplo muy importante lo constituye el caso de Francisco J. Ayala. En los años 1959-60 Ayala era un monje dominico que intentaba cursar la carrera de Física en la Universidad de Salamanca. En el primer curso fue alumno de

During a recent visit to Madrid (...) I was able to visit some of my colleagues there, and I was delighted to find that research work in genetics was continuing. Prof. A. de Zulueta (...) was continuing this work on the polymorphic beetle *Phytodecta variabilis*. Prof. Galán, of Salamanca, was very appropriately breeding the “explosive cucumber”, *Ecballium elaterium*. (...) Our discussion of these topics was interrupted by an air raid considerably more severe than any of those on London in 1914-18. However, no bombs fell very near us (...) I think that the persistence of de Zulueta and Galán under conditions which are, to say the least, uncongenial for research, deserves to be recorded, and augurs well for the future of biology in Spain. Haldane, J. B. S., “Genetics in Madrid”, *Nature* 20, feb. 1937, p. 331.

Fig. 9. Extracto del artículo: Haldane, J.B.S. (1937) Genetics in Madrid. *Nature* 20, feb. 1937, p. 331.

Galán en la asignatura de Biología, lo cual le influyó para dedicarse a la Biología y, en particular, a la evolución biológica. Tanto Galán como Zulueta le aconsejaron que fuera a formarse en un laboratorio de punta en el extranjero y la elección recayó en el laboratorio de Theodosius Dobzhansky en la Columbia University, por entonces el genético de poblaciones más influyente. Zulueta escribió en 1960 una carta a Dobzhansky, a quien había conocido durante su estancia en el laboratorio de Morgan, recomendando a Ayala. La admiración que Dobzhansky tenía por Zulueta fue decisiva en la aceptación de Ayala, un estudiante que no tenía estudios de Biología y quería hacer el doctorado en Genética Evolutiva. La carrera de Ayala fue fulminante, en 1963 obtuvo el título de M.A. y el de doctor, Ph.D., en el año siguiente. Con el tiempo, la asociación de Ayala y Dobzhansky se hizo muy estrecha, convirtiéndose Ayala en el sucesor de Dobzhansky y uno de los genéticos de poblaciones más destacados de la era actual. Esta historia refleja la importancia de la excelencia de los pioneros de la genética en la vocación de los jóvenes porque el mismo Ayala reconoce que sin el encuentro con Galán y sin la presentación de Zulueta su carrera “hubiera sido muy diferente” e incluso es posible que su talento para la genética de poblaciones se hubiera perdido en la ignorancia, como vaticinaba Ramón y Cajal.

También Gallástegui impulsó la formación de genéticos cuantitativos en el campo de la mejora animal. En 1930 Gallástegui encarga a Miguel Odriozola (Fig. 10), un joven ingeniero agrónomo que se encontraba en Cambridge becado por la JAE, la puesta en marcha de una piara de cerdos en la Misión. Odriozola estudió genética y estadística con Ronald Fisher y nutrición animal en Aberdeen y otras universidades alemanas. En 1933 regresa a España después de haber elegido sucesivamente diversos fundadores de la raza porcina *Large White* que representasen la máxima variabilidad genética y fenotípica de la misma. Estos fundadores constituyeron una piara cerrada que fue estudiada durante 40 años empleando métodos de selección que mejorasen la productividad minimizando al máximo el aumento y el efecto negativo de la consanguinidad. Durante los años de las postguerras civil y mundial, en que era imposible importar reproductores de Europa, esta piara proporcionó cerdos *Large White* de calidad a los ganaderos españoles. En Oropesa (Toledo) realiza una labor parecida fundando otra piara con estirpes de cerdo ibérico seleccionadas por Odriozola para obtener la máxima variabilidad genética original. Actualmente algunas líneas obtenidas por Odriozola constituyen las de mejores características productivas, como atestiguan muchos ganaderos de Extremadura, Andalucía y Castilla.



Fig. 10. Miguel Odriozola (1903-1974). (Cortesía de Luís Silió).

En la etapa final de su vida decide opositar en 1964 a catedrático de Zootecnia Especial en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (ETSIA), donde impartió clases y se decidió a analizar los datos que sistemáticamente había recogido de ambas piaras. Con la ayuda de la Fundación March y a pesar de las limitaciones informáticas de la época para tal acumulación de datos, pudo elaborar una memoria final para la fundación. Sin embargo, Odriozola no quedó satisfecho con los resultados porque “enfoques que parecían llenos de promesas, han resultado inadecuados e inoperantes”, como el mismo indica, posiblemente porque se necesitaban nuevos enfoques estadístico-matemáticos que no estaban disponibles entonces (ver Silió y Malpica 2003). A pesar de esta frustración por un trabajo tan laborioso no publicado, sus ideas y prestigio tuvieron mucha influencia en discípulos como Malpica y Silió, este último hoy investigador en el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (Madrid), además de un reconocimiento internacional materializado en la ponencia inaugural invitada del Congreso Mundial de Genética Aplicada a la Producción Animal, Madrid 1974.

Aún reconociendo el mérito de estos pioneros de la genética cuantitativa en España en su aplicación a la mejora genética agrícola y ganadera, a los que la genética de poblaciones debe gran parte de sus fundamentos, los orígenes de esta disciplina en España y la génesis de una verdadera escuela se produjo de un modo casi independiente por un investigador procedente de la antropología biométrica.

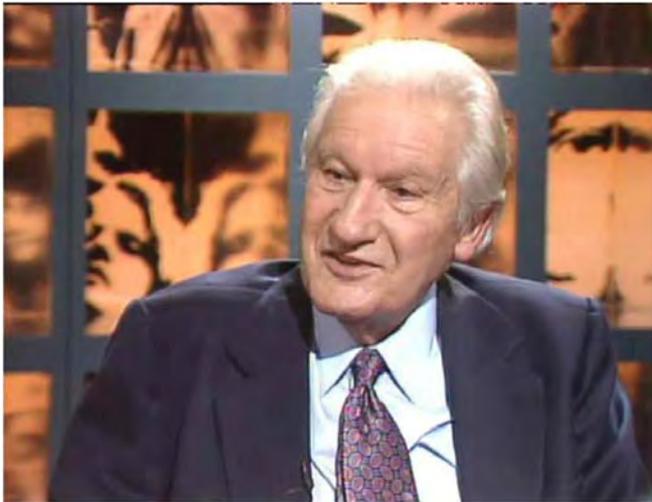


Fig. 11. Antoni Prevosti. (Cortesía de Luís Serra).

Antoni Prevosti: un visionario en el panorama español de postguerra

Prevosti (Fig. 11) se doctoró en 1948 con Santiago Alcobé, un antropólogo de la universidad de Barcelona impulsor de los estudios biométricos, sobre el “estudio del crecimiento infantil en escolares barceloneses”. Eran años difíciles en que, como hemos visto, existían buenos antecedentes sobre la introducción de la genética en España que o bien habían abortado o se encontraban en un estado de gran precariedad. Utilizando el método de pensiones de la JAE, pero sin la JAE, es decir por libre, el joven Prevosti realizó varias estancias en centros extranjeros de prestigio. Primero, en 1948 en Roma con el profesor Gini para ampliar sus conocimientos de Estadística y a continuación en 1949 en el Instituto de Hidrobiología de Palanza (Italia) con el profesor Buzzatti-Traverso, donde aprendió las técnicas de trabajo con *Drosophila*. En 1951 consigue una plaza de colaborador científico por oposición en el Centro de Genética Animal y Humana (CSIC) de Barcelona. En el curso 1953-54 realiza una estancia clave para su carrera científica en el Instituto de Genética Animal de Edimburgo. Allí Prevosti adquiere su formación básica en genética cuantitativa al lado de investigadores tan prestigiosos como A. Robertson, D.S. Falconer, C. Auerbach, F.W. Robertson y E. Reeve, además de C. Waddington director del Instituto. En España esta disciplina había sido practicada, como hemos visto, por los agrónomos, pero Prevosti adopta *Drosophila*, con gran acierto, por sus evidentes ventajas (y su bajo coste) como animal de trabajo en el laboratorio.

El año de su regreso, el 1955, fue un momento clave para la genética en España. Después de décadas de atraso, la genética fue declarada disciplina oficial en los planes de estudio de la universidad española. Esta oficialidad dinamizó la creación de las primeras cátedras, primero (1955) la cátedra de Genética y Mejora de la

Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos de Madrid, después (1960) en la Facultad de Veterinaria de Zaragoza como cátedra de Zootecnia (Genética y Fomento Pecuario), y finalmente, en 1963, en las facultades de ciencias (licenciatura de Biología). En 1963 se convocan a oposición las cátedras de Genética de las Universidades de Barcelona, Madrid y Granada (Facultad de Ciencias). Uno de los contrincantes de Prevosti fue Enrique Sánchez Monge, un ingeniero agrónomo que ya era catedrático por oposición desde 1960 de la cátedra de la Escuela de Agrónomos de Madrid. Prevosti obtuvo el número 1 y escogió Barcelona, Sánchez Monge, ya entonces un investigador de prestigio en la mejora genética vegetal, obtuvo el número 2 y escogió Madrid. Menciono esta conjunción entre ambos genéticos no solo porque en 1963 eran posiblemente dos de los jóvenes investigadores en genética más importantes en España, sino también por el protagonismo que ambos tuvieron en mi carrera, como expondré más adelante.

En 1963 Prevosti ya llevaba desde 1955 impartiendo la asignatura de Genética primero como profesor encargado de curso (1955-59) y después como encargado de cátedra (1959-63). Además era investigador científico por oposición del Centro de Genética Animal y Humana de Barcelona (CSIC) (1956-63). Ya estabilizado como catedrático, Prevosti se dedicó a poner los fundamentos de una escuela. Desde su estancia en Edimburgo, su interés en estudiar como la diferenciación genética de las poblaciones naturales de *Drosophila subobscura* en caracteres cuantitativos influía en su adaptación, nunca se detuvo. Sus primeros resultados sobre la correlación del tamaño y la forma del ala de *Drosophila* con variables ambientales se publicaron en *Genética Ibérica*, una revista que patrocinaba el CSIC, de la cual llegó a ser su director. Pronto estos trabajos empezaron a tener resonancia internacional y propiciaron su participación por invitación al Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology del año 1955, lo cual representó su consagración inicial como un investigador de talla internacional (Prevosti 1955). Allí Prevosti reafirmó sus contactos con los líderes de la genética de poblaciones y la evolución entre los cuales se encontraban Buzzatii-Traverso, Carson, Dobzhansky, Dunn, Falconer, Ford, Kimura, Lerner, Lewontin, Lush, McClintock, Mather, Mayr, Prout, A. Robertson, F. Robertson, Sobels, Sokal, Spiess, Stone, Thoday, Wallace y Wright, entre muchos otros (Fig. 12).

A pesar de que en los años 60 los medios materiales para la investigación no eran muy abundantes, fueron los años de la consolidación del grupo Prevosti. A lo largo de esta década entramos muchos doctorandos a hacer la tesis, algunos de los cuales hemos ocupado después cátedras de genética en toda España. Si tuviera



Fig. 12. Algunos asistentes al *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 1955 (de arriba a abajo y de izda a derecha): Primera fila: A. Gustafson, K. Maramorosh; G. Malécot, S. Wright; P.M. Sheppard, E.B. Ford; Segunda fila: Th. Dobzhansky, H. Levene; O. Kempthorne, J.L. Lush, A.C. Allison; Tercera fila: F.W. Robertson, M. Demerec; R. Lewontin, E.B. Ford (eating clams at Neptune's Cave); S. Wright; G. Malecot, A. Prevosti; Cuarta fila: M. Kimura, E. Hackel, J.C. Foothills, E. Mayr; M. Levitan, L.C. Dunn; K. Mather, R. Ceppellini; W.C. Boyd, A.C. Allison.

que resaltar solo una característica de Prevosti escogería su generosidad en personalizar proyectos de investigación para sus discípulos. Claro que muchos doctorandos del grupo trabajaban con *D. subobscura*, la mosca *vedette*, pero otros, como yo, lo hacíamos con distintas especies de *Drosophila* o en especies tan diversas como escarabajos o planarias. Lo importante era el interés y la viabilidad del proyecto, no el organismo. Este talante liberal hacia el investigador novel que lo desvincula de la inmediata tutela del jefe y le da alas para imaginar su proyecto, no siempre es bien visto y requiere un alto grado de valentía del investigador senior. Los temas de investigación eran también diversos en nuestro grupo, desde la canalización en macroquetas o el estudio de la interacción genotipo-ambiente en *Drosophila*, pasando por la filogenia cromosómica de coleópteros hasta problemas de regeneración en planarias. Recuerdo con gran placer los frecuentes intercambios de conocimientos entre nosotros, los doctorandos, sobre temas de los demás que nos eran bastante desconocidos pero no menos interesantes. El futuro me ha enseñado que estos contactos interdisciplinarios constituyen a menudo el germen de nuevas ideas y, en todo caso, uno de los ingredientes necesarios para la formación de un científico.



Fig. 13. Antoni Prevosti con María Monclús muestreando en San Carlos de Bariloche (Argentina). (Cortesía Luís Serra).

Las décadas de los sesenta y setenta: un tiempo de cambio

Muchas cosas cambiaron en la década de los 60. El movimiento hippy estaba revolucionando a nuestros jóvenes y los campus universitarios eran un hervidero de protestas. En España además, las últimas fases del franquismo eran un motivo de revuelta estudiantil. Cuantas veces siendo profesor encargado de Biometría y Estadística tuve que esconder en clase los estudiantes que entraban perseguidos por los "grises", como se conocía entonces a los guardias. Sin embargo, nosotros, los discípulos de Prevosti, seguíamos trabajando duro y el grupo se estaba cohesionando en torno del maestro.

Fue precisamente en 1966 cuando un hecho puntual trastornó la forma de medir la



Fig. 14. *Theodosius Dobzhansky* en su despacho con *Antonio Fontdevila*, becario postdoctoral en Davis, Universidad de California (1972).

variabilidad genética. Hasta ese momento las técnicas de medición eran muy indirectas, a partir del fenotipo, normalmente alejado de la expresión de los genes. Pero entonces, utilizando la técnica de la electroforesis, Lewontin y Hubby (1966), en la universidad de Chicago, fueron capaces de calcular la heterocigosis real mediante la observación individual de los electrogramas mucho más próximos al genotipo de los caracteres enzimáticos. Esto permitía saber si el genotipo era básicamente homocigoto o heterocigoto, una controversia importante para decidir como actuaba la selección en las poblaciones naturales. La enorme variabilidad genética encontrada era difícil de explicar mediante los mecanismos selectivos y esta gran dificultad fue superada con la formulación por M. Kimura (1968) de la teoría neutralista, la cual postula que la mayoría de las variantes genéticas moleculares son neutras, es decir escapan a la selección. Esta teoría sacudió los laboratorios avanzados de genética de poblaciones y uno de ellos fue el de Prevosti. Lo menciono aquí como muestra del alto grado de “estar al día” de nuestro laboratorio, no solo de las nuevas tecnologías, sino y sobre todo de los grandes avances científicos, teóricos y experimentales. Recuerdo como Prevosti nunca escatimaba ni un ápice en mantener suscripciones a revistas especializadas y en la compra de libros científicos, y como mantenía una extensa colección de separatas actualizadas, y todo esto en una época en que sin presupuestos ni Internet, era muy difícil de realizar. El impacto de frontera en la investigación del laboratorio de Prevosti se tradujo en

que otros laboratorios españoles enviaron investigadores jóvenes como Manuel Ruiz Rejón y Oliver Jimenez, por citar unos pocos, a aprender las técnicas y conocer las ideas que existían en nuestro laboratorio. Además, Prevosti fue invitado a dictar cursos y transmitir sus conocimientos a otras universidades españolas como la de La Laguna en Tenerife, en la que contribuyó a la formación de investigadores como Vicente Martínez Cabrera, Ana M. González y José M. Larruga.

Aquí habría que resaltar como el laboratorio de Prevosti en los años sesenta también fue un lugar de paso de científicos eminentes como Buzzati-Traverso, Bruce Wallace, William Stone, entre otros. Prevosti conoció a muchos relevantes evolucionistas y genéticos de poblaciones como Mayr, Fisher, Wright, Haldane, Stebbins, Dobzhansky, Ayala, Lerner, Sturtevant, Lewis, Goldschmidt, y Wallace, con algunos de los cuales, como este último, mantuvo una buena amistad. Puedo decir, por tanto, que dentro de las limitaciones del momento español, Prevosti nos proporcionó un modelo de grupo científico con un nivel de discusión e intercambio de ideas en la misma línea de los laboratorios más avanzados de otros países.

Toda esta labor se tradujo en que a principios de la década siguiente nuestro grupo empezó a generar doctores en genética, algunos de los cuales ocuparían por oposición lugares de liderazgo en las diferentes cátedras de España que se fueron creando. Otros se quedaron en el grupo de Barcelona, para continuar y diversificar el grupo que actualmente sigue siendo uno de los más activos en diferentes aspectos de la genética evolutiva. Como ejemplo de estos nuevos grupos puedo citar el de Jaume Baguña en genética del desarrollo, el de Roser Gonzalez en genética molecular humana, el de Lluís Serra en genética de poblaciones y el de Montserrat Aguadé en genética molecular evolutiva de *Drosophila*. De todos ellos han surgido destacados discípulos todos los cuales es imposible mencionar aquí. En Valencia José Luis Mensua y Rosa de Frutos iniciaron un equipo del que surgieron investigadores tan relevantes como Andrés Moya y Amparo Latorre. En Palma de Mallorca, Eduard Petitpierre también formó un grupo el cual derivó hacia estudios de sistemática.

En mi caso, busqué nuevos horizontes. Mi fascinación por la figura de Dobzhansky (Fig. 14) me impulsó a encontrar un lugar en su grupo de investigación y así se lo comuniqué a Prevosti. Terminé la tesis en 1971, en aquel momento Dobzhansky era profesor emérito y estaba asociado con Francisco Ayala, el cual se encontraba en un momento muy activo con muchas ideas y recursos. El consejo de Prevosti fue contactar con Ayala, lo hice, me aceptó y durante mis dos años (1971-73) en la Universidad de California (Davis), donde se habían trasladado

Ayala y Dobzhansky, desarrollé un trabajo de investigación innovador sobre el mantenimiento de la variabilidad genética molecular que fue publicado en *Nature*, además de unos contactos con figuras de excelencia en evolución que marcaron mi futura carrera. Además de contar en el laboratorio con excelentes compañeros, doctorandos y posdocs, como John Avise, Jeffrey Powell, John McDonald, Dennis Hedgecock, Martin Tracey y Moritz Benado, muchos de los cuales han llegado a ser figuras relevantes en genética evolutiva, en el Departamento de Genética de Davis se encontraban primeras figuras como Ledyard Stebbins, uno de los padres de la Síntesis Moderna, Robert Allard, Mel Green y Leslie Gottlieb. Este rico entorno científico ampliado por la frecuente visita de otros científicos relevantes a nuestro departamento y también mis visitas a otros famosos evolucionistas en diversas universidades de EEUU contribuyó significativamente a ensanchar mi formación.

Mi expansión como investigador

De regreso de los EEUU en 1973 gané por oposición la primera cátedra de genética de la Universidad de Santiago de Compostela y empecé a formar un grupo. Permanecí allí hasta 1980 en que me trasladé a la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), donde he permanecido hasta el presente en que soy Profesor Emérito. Mi trayectoria es bien conocida y no voy a pormenorizar, pero quiero exponer brevemente lo que yo considero las bases de mi contribución a la genética de poblaciones y la evolución. En Santiago, a mi llegada la situación era bastante precaria, tanto en medios como en entorno genético, pero me propuse aplicar lo que había aprendido de mis maestros: un proyecto de investigación de punta en un entorno rico en ideas y en intercambio científico. Además de continuar en *D. subobscura* con el problema del desequilibrio de ligamiento encontrado entre las inversiones y las aloenzimas, cuya explicación podía ser neutra o selectiva, y con el estudio de la variación estacional del polimorfismo cromosómico, me interesó enfocar la medida de los componentes de la selección natural en poblaciones naturales, donde los estudios no eran muy abundantes. Después de un tiempo de reflexión decidí trabajar con *D. buzzatii*, una especie cactófila que utiliza los frutos y las palas en descomposición de *Opuntia* (chumbera) como sustrato trófico (Fig. 15). Este proyecto se desarrolló en Santiago y siguió en la UAB, dando como resultado muchas publicaciones, entre la que destaca una serie de 36 trabajos titulada “La historia evolutiva de *Drosophila buzzatii*”. Además de estas líneas de investigación, mi grupo ha desarrollado una amplia variedad de trabajos sobre el papel de la hibridación



Fig. 15. a y b) Vistas del chumberal de El Algarrobico. c) Dos instantáneas del trabajo de campo (Mauro Santos); d) El hotel en litigio invadiendo el chumberal.

interespecífica en las tasas de transposición de los elementos móviles y sobre la arquitectura genética del aislamiento reproductivo en machos híbridos interespecíficos. A lo largo de los años muchos de mis antiguos doctorandos se han establecido como docentes e investigadores en diversas partes de España y el extranjero. En España, puedo citar Emilio Valadé, Gonzalo Álvarez y Carlos Zapata en la Universidad de Santiago, Horacio Naveira y Josefina Mayoral en la Universidad de A Coruña, Alfredo Ruiz, Mauro Santos y Armand Sánchez en la UAB, Ignacio Marín en el Instituto de Biomedicina de Valencia (CSIC) y la Universidad de Valencia, Mariano Labrador en la University of Tennessee (EEUU) y Esteban Hasson en la Universidad de Buenos Aires (Argentina). Todos ellos son o han sido jefes de grupo, han desarrollado líneas de investigación independientes, y muchos de ellos a su vez han generado nuevos genéticos que actualmente ocupan cátedras y/o han formado grupos de investigación.

Finalmente quisiera destacar la labor de mi grupo en Iberoamérica. Mi trabajo con *D. buzzatii*, una especie colonizadora originaria de Sudamérica, me llevó a estudiar su distribución y su biología evolutiva en ese subcontinente, donde establecí muchos contactos y realice una gran actividad docente e investigadora, incluyendo mucho trabajo de campo. Este proyecto generó asociaciones con científicos de esa área, publicaciones conjuntas y estancias de profesores en sabático y de jóvenes doctorandos iberoamericanos en mi laboratorio. Como ejemplo de todo ello destacaría mi asociación con Osvaldo A. Reig, un biólogo evolutivo argentino de gran renombre internacional (Fig. 16). Con Osvaldo iniciamos un grupo de Genética de Poblaciones con *Drosophila* en Buenos Aires y dirigimos la tesis doctoral de Esteban Hasson. Este grupo, que venía a llenar la falta de esta especialidad en Argentina en comparación con otros países como



Fig. 16. Conversación entre *Antonio Fontdevila* (izquierda) y *Osvaldo Reig* (derecha).

Brasil y Chile donde la influencia de Dobzhansky fue decisiva, ha tenido mucho éxito. Actualmente, dirigido por Hasson debido a la prematura muerte de Osvaldo, es uno de los más exitosos y productivos del continente en esa área (Fig. 17).

La escuela de genética cuantitativa de Madrid

Los orígenes de la Genética de Poblaciones en Madrid se deben a dos investigadores en Genética Cuantitativa y Mejora Genética: Miguel Odriozola y Fernando Orozco. De la labor del primero en la Misión Biológica de Galicia y en la ETSIA ya hemos hablado antes y aquí solo cabe resaltar su influencia en muchos genéticos poblacionales y cuantitativos, teóricos y aplicados.

Fernando Orozco: un pionero de la genética cuantitativa

Fernando Orozco estudió Ingeniero Agrónomo en la ETSIA, obtuvo el título en 1953, ingresando al año siguiente en el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (INIA) de Madrid. Pronto se decide a perfeccionar sus conocimientos sobre avicultura viajando a EEUU primero en 1956 en un viaje de estudios donde conoce a Earl Bell en la Universidad de Purdue. Bell era un influyente profesor de mejora genética y aconsejó a Orozco que una visita de trámite no era suficiente y que si quería formarse en mejora genética debía hacer una larga estancia en Purdue. Orozco siguió este consejo y en 1958 inicia una estancia de un año en Purdue donde obtiene el Master of Science bajo la tutoría de Bell. A su regreso trae toda la información y la comparte con sus colegas españoles, en un ambiente de intercambio científico poco usual en el empobrecido ambiente científico del momento español.



Fig. 17. Equipo del grupo de genética de poblaciones de la Universidad de Buenos Aires en una expedición a Hornillos (NO de Argentina) en 1991. De izquierda a derecha: *Juan J. Fanara*, *Antonio Fontdevila*, *Esteban Hasson* y *Constantina Rodríguez*.

Un aspecto fundamental de su regreso es la introducción de *Tribolium*, un coleóptero que se utilizaba en el laboratorio de Bell para investigación en genética cuantitativa básica. Con la ayuda del Departamento de Agricultura de EEUU monta un laboratorio con este organismo modelo. En 1964 Orozco regresa a Purdue financiado por La Fundación March y obtiene el grado de PhD con una tesis sobre la investigación realizada en España. En esta etapa conoce a Virgil Anderson, antiguo discípulo de Kempthorne, el cual le ejerce un profundo impacto en el diseño de experimentos.

La finalidad de Orozco siempre fue la mejora de las gallinas, pero no se le escapaba que el *Tribolium*, como organismo modelo, era una herramienta básica que le servía para comprender la mejora de la producción avícola. Alan Robertson decía que Orozco trabajaba con *Tribolium* porque pone huevos como las gallinas, una expresión metafórica de cómo los organismos modelo permiten pasar de un carácter a otro en un organismo distinto porque ambos están relacionados, en este caso con la puesta. Orozco estableció un laboratorio de punta en el que se estudiaban dos aspectos fundamentales de la Genética Cuantitativa: determinar las propiedades genéticas de los caracteres de interés y el alcance de los distintos modelos de selección artificial. A estas labores se dedicaron junto con Orozco un conjunto de colaboradores entre los que destaca José Luis Campo. En resumen, aunque el interés de Orozco era la aplicación de la genética cuantitativa a la mejora, lo mismo que Odriozola, ambos sentaron las bases necesarias para el despegue de la Genética de Poblaciones, a través de su conocimiento profundo sobre la teoría de la selección, natural y artificial, en particular los efectos de la interacción genotipo ambiente y también el efecto de la deriva genética en los caracteres cuantitativos.

El despegue de la Genética Cuantitativa y de Poblaciones

Odrizola se jubiló en el curso 1973-74 y poco después la Genética Cuantitativa desapareció de la ETSIA. Los discípulos de Odrizola se trasladaron al grupo de Orozco. En este momento la escuela de Orozco en el INIA era el único lugar en que se experimentaba en dicha disciplina en Madrid. Cabe señalar que por entonces Eduardo Torroja, vinculado al Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC, del que llegó a ser director, experimentaba en Genética de Poblaciones, en temas como la estructura genética de las poblaciones naturales y experimentales, el origen y el mantenimiento de la variabilidad genética, el estudio del lastre genético en poblaciones naturales y en polimorfismos naturales. Estos estudios se realizaban en *Drosophila*. Después de doctorarse con Ortiz en 1962, Torroja trabajó con Dobzhansky en la Rockefeller University de Nueva York y con Stone en la Genetics Foundation de Austin (EEUU). Fue un excelente docente que impartió clases de Genética de Poblaciones y Evolución en la Universidad Complutense, pasando a la Universidad Autónoma de Madrid cuando Carlos López-Fanjul ganó la agregaduría de Genética Evolutiva de la Complutense.

Recién doctorado por la Universidad de Edimburgo, López-Fanjul ingresó en el grupo del INIA en 1973. Cuando en 1975 quedó vacante la agregaduría de Genética Evolutiva de la Complutense, “un *free-lance* disponible, sin mayor conexión científica con las cátedras de las Escuelas de Agrónomos o de las Facultades de Biología, aprovechó la oportunidad y ocupó un nicho que había quedado vacío”, tal y como el mismo López-Fanjul me lo describe. Instalado en la Complutense, la mayor parte de su labor la ha desarrollado en colaboración con investigadores del INIA. Entre ellos cabe destacar a Miguel Angel Toro, el cual habiendo iniciado su tesis con Torroja se trasladó al INIA para hacerla con Orozco a mediados de los 70. Más tarde Toro hizo otra tesis con Brian Charlesworth en Sussex (Inglaterra). En 2010 ganó la cátedra de Fisiogenética en la Escuela, volviendo la genética cuantitativa a la ETSIA. Toro junto con Armando Caballero, catedrático en Vigo, y Aurora García-Dorado, catedrática en la Complutense, estos últimos discípulos de doctorado de López-Fanjul, constituyen con López-Fanjul un cuarteto-grupo de investigación cuya labor en genética cuantitativa y evolución es reconocida internacionalmente.

Además de sus trabajos individuales, la labor de este grupo, experimental con *Drosophila* y teórico con modelos matemáticos y simulación por ordenador, se ha caracterizado por el estudio experimental de la selección artificial sobre



Fig. 18. Carlos López-Fanjul (izquierda) y William G. Hill (derecha), con motivo de la investidura de Doctor of Science de López-Fanjul en 2009 por la Universidad de Edimburgo. (Cortesía de C. López-Fanjul.).

nuevas mutaciones, por descifrar las propiedades de las mutaciones con efecto sobre los caracteres cuantitativos y por describir los efectos de la deriva, la selección natural y la mutación sobre la media y los componentes de la varianza genética de los caracteres cuantitativos. Sus artículos y ponencias en congresos han sido considerados por la comunidad internacional como de primera línea. Finalmente, en 2009 la Universidad de Edimburgo reconoció los méritos de López-Fanjul concediéndole el título de Doctor of Science (Fig. 18) y la Sociedad Española de Genética le otorgó el Premio Nacional en Genética.

La proliferación de la genética de poblaciones y evolutiva hasta el presente: la huella de Prevosti

El 26 de julio de 1979 se inauguró en el Pazo de Mariñan (A Coruña) el primer Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución (Fig. 19). El motivo del mismo era reunir a todos los grupos españoles que entonces trabajábamos en esta disciplina para conocernos mejor, tratando de suscitar discusiones sobre nuestro trabajo y establecer posibles vínculos de colaboración (Fig. 20). El éxito de esta reunión fue completo y su interés se ha mantenido durante 35 años como evidencia la XX edición recientemente celebrada en Granada (1-3 de octubre de 2014). Durante siete lustros hemos recorrido los parajes más diversos de la geografía española, convocando los grupos más representativos de la genética de poblaciones y de disciplinas evolutivas estrechamente relacionadas con aquella. Un vistazo a la memoria cronológica de los seminarios (Fig. 21 y 22) revela los grupos que han ido organizando cada seminario y también los investigadores invitados, nacionales e internacionales, cuya presencia ha sido promovida para ampliar el grado de discusión de los mismos.

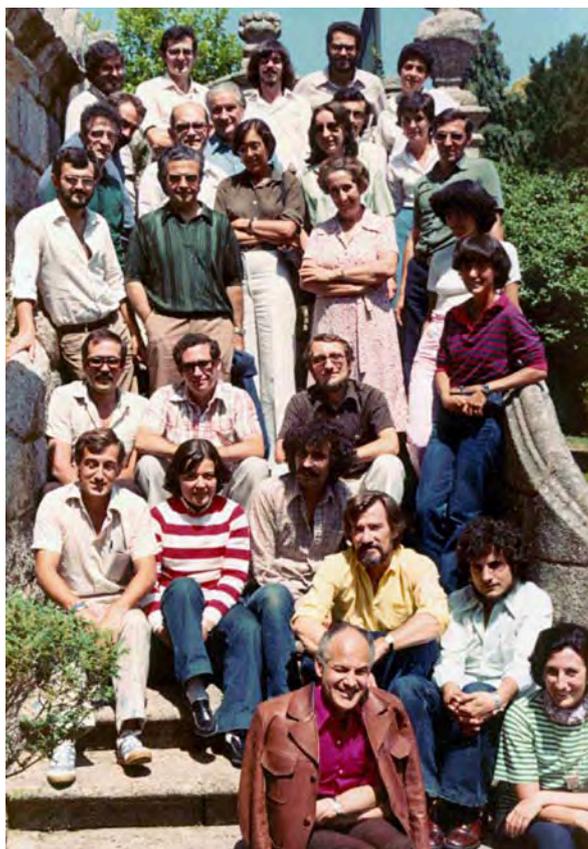


Fig. 19. Grupo del I Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución. Pazo de Mariñán (A Coruña) 1979. (foto tomada por Emilio Valadé).

Estos seminarios han servido también para testimoniar el grado de desarrollo que ha alcanzado nuestra disciplina durante las tres últimas décadas, del cual son herederos muchos de los investigadores jóvenes actuales. Al mismo tiempo los grupos han ido diversificándose a partir de un núcleo original de genética de poblaciones, abarcando actualmente muchas líneas de investigación en ecología, filogenia, genómica, biología comparada, especiación, por no citar más que algunas. Por ejemplo muchos discípulos de Prevosti hemos generado a su vez, más discípulos que, como he mencionado en mi caso, han creado verdaderas escuelas. En el corto espacio de que dispongo me es imposible citarlas todas en su merecida extensión y mérito, por lo que pido perdón por mis omisiones. Me limitaré a citar algunas como ejemplo.

José Luis Mensua y Rosa de Frutos, dos de los primeros doctorandos de Prevosti, se establecieron primero en la UAB y después en la universidad de Valencia (UV), donde dirigieron varias tesis que formaron a investigadores establecidos posteriormente en diversas universidades, como en la propia UAB, en la universidad de las islas Baleares y en la UV. Algunos de estos investigadores se especializaron en líneas distintas de la genética de poblaciones tales como la mutagénesis (Ricard Marcos y Amadeo Creus) o la evolución de elementos transponibles (Nuria Aparicio). En Valencia dos doctorandos Andrés

Conversaciones en Mariñán (Julio 1979)



Fig. 20. *Conversaciones en Mariñán.* Cuadros de izquierda a derecha y de arriba a abajo, algunos asistentes identificados: 1. José Luís Mensua (primer plano), Julián Rubio (de pié); 2. Antoni Prevosti, J.L. Mensua (ambos de cara); 3. Antonio Fontdevila (de pié), sentados Alfredo Ruiz, Eduardo Torroja, Hugo Hoenigsberg, J.L. Mensua, Rosa de Frutos; 4. Rosa de Frutos, Luís Serra (ambos sentados de cara); 5. A. Prevosti (de pié), Nicolas Jouve (sentado); 6. J. Rubio (centro); 7. Juan Ramón Medina (centro, de cara); 8. N. Jouve, E. Torroja, A. Prevosti (de izquierda a derecha); 9. Griselda Ribó, A. Ruiz, Miguel Dosil, Montserrat Aguadé, Laura Sánchez (de pie), Ramón Nogués (de izquierda a derecha).

Moya y Amparo Latorre, de Mensua el primero y de de Frutos la segunda, constituyeron en 1986 el núcleo de lo que habría de ser el futuro grupo de Genética Evolutiva, iniciando líneas en evolución experimental con virus, en genética de poblaciones con pulgones y luego en genómica de bacterias simbiotes de hospedadores eucariotas. Ambos investigadores completaron su formación en genética de poblaciones y evolutiva en el laboratorio de Francisco Ayala (Fig. 23) en la Universidad de California, Davis e Irvine (USA), primero como postdoctorales (1984) y después como profesores visitantes (1989, 1994). La labor del grupo se ha traducido en las últimas décadas no sólo en avances científicos significativos en dichas líneas, sino también en la formación de un gran número de investigadores actualmente trabajando en diversos centros españoles y extranjeros. Para esta labor el grupo ha estado comprometido en la creación y promoción de centros de investigación en Valencia donde la biología evolutiva juega un papel preeminente, entre los que cabe destacar el Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva, el Centro de Astrobiología, y el Centro Superior de Investigación en Salud Pública y el Instituto de Biología Integrativa de Sistemas (en construcción).

Otros grupos también recibieron el influjo de Prevosti. Julián Rubio realizó una tesis doctoral en Inglaterra con John Maynard Smith sobre

SEMINARIO	ORGANIZADOR	INVITADOS
I (26-28 julio 1979) Pazo de Mariñán(A Coruña)	Antonio Fontdevila	Hugo Hoenigsberg
II (17-19 Julio 1980) Parador de Cardona (Barcelona)	Antonio Prevosti	Danko Brncic, Hans Hunziker Osvaldo A. Reig
III (11-13 Marzo 1982) Parador de Peñíscola (Castellón)	José Luis Mensua	Eduardo del Solar
IV (10-12 Noviembre 1983) Perlora (Asturias)	Julián Rubio	Antonio Garcia-Bellido, Daniel Frías, Ramón Margalef, Jesus. A. León, Francisco. J. Ayala
V (2-4 Octubre 1985) El Escorial (Madrid)	Carlos López-Fanjul	Esteban Domingo, Carlos Castrodeza, Marcelino Perez de la Vega, Moritz Benado
VI (17-20 Septiembre 1987) La Rábida (Huelva)	Juan Ramón Medina	Ledyard Stebbins
VII (27-29 Septiembre 1989) Palma de Mallorca	Eduardo Petitpierre	J. Yadav, M. de Renzi
VIII 3-5 abril 1991 Centro Borja (San Cugat del Vallés, Barcelona)	Antonio Fontdevila , Jordi Agustí, Mauro Santos, Alfredo Ruiz	Ary Hoffman, Max Hecht, Pere Alberch, Rusell Lande, V. M. Zhakarov
IX (14-16 Abril 1993) Bubiñ, Alpujarra (Granada)	José L. Oliver, Manuel Ruiz-Rejón, Carmelo Ruiz-Rejón, Rafael Lozano	John F. McDonald, John S. Parker, Carlos Herrera, José L. Sanz, Antonio Prevosti, A. Moya, C. López-Fanjul, J.L. Sanz, E. Torroja, C. Herrera, A. Marín
X (25-28 Abril 1995) Miraflores de la Sierra (Madrid)	Jaime Gosalvez, Carlos López Fanjul, Eduardo Torroja	Brian Charlesworth, G.M. Hewitt
XI (15-18 Abril 1997) Santiago de Compostela	G. Alvarez, C. Zapata, G. Visedo, L. Sánchez, E. San Miguel, P. Martínez	Francisco J. Ayala, Ángel Carracedo
XII (25-28 Noviembre 1998) Parador de Aiguablava (Gerona)	M. Aguadé, L. Serra, F. Mestres, J. Rozas, C. Segarra	N.T. Miyashita, A. G. Clark,
XIII (8-11 Noviembre 2000) Baiona (Pontevedra)	A. Caballero, A. Sanjuan, J.J. Pasantes, E. Rolán, P. Presa, P. Morán, A. S. Comesaña, J. Fernández, D. Valverde, M. Pérez	James F. Crow, John C. Avise, Eduardo Torroja, J. Gosalvez
XIV (13-16 Noviembre 2002) Gandía (Valencia)	F. González-Candelas, E. Barrio, S. F. elena, A. González, R. Gil, A. Latorre, A. Moya, F.J. Silva	A. Rambaut, E.C. Holmes, Keith Crandall, Siv G.E. Andersson, James F. Crow
XV (9-12 Noviembre 2004) Sigüenza (Guadalajara)	R. Zardoya	Martin Kreitman, James S. Farris, Timothy G. Barraclough, Mark Beaumont, Carles Vilà, C. C. Moritz
XVI (15-18 Noviembre 2006) Sant Feliu de Guixols (Girona)	J. Bertranpetit, E. Bosch, F. Calafell, D. Comas, M. Corral, A. Navarro	Ricard Solé, Andres Moya, Mark Kirkpatrick, Hernán Dopazo
XVII (12-15 Noviembre 2008) Ribadesella (Asturias)	J. Albornoz, A. Dominguez, E. García Vázquez	Xosé Antón Suárez, Marta Barluenga
XVIII (5-7 Mayo 2010) Guitiriz (Lugo)	P. Martinez, más colaboradores	Antonio Fontdevila, Andrés Legarra, Antonio Salas
XIX (2-4 Mayo 2012) Orduña (Vizcaya)	B. M. Jugo, más colaboradores	Iñaki Comas, Emilio Rolán-Álvarez, Xose S. Puente, Arcadi Navarro
XX (1-3 Octubre 2014) Granada	F. Perfectti y colaboradores	Antonio Fontdevila, Jordi Moya-Laraño, Víctor Soria-Carrasco

Fig. 21. Cuadro cronológico de los Seminarios de Genética de Poblaciones y Evolución.

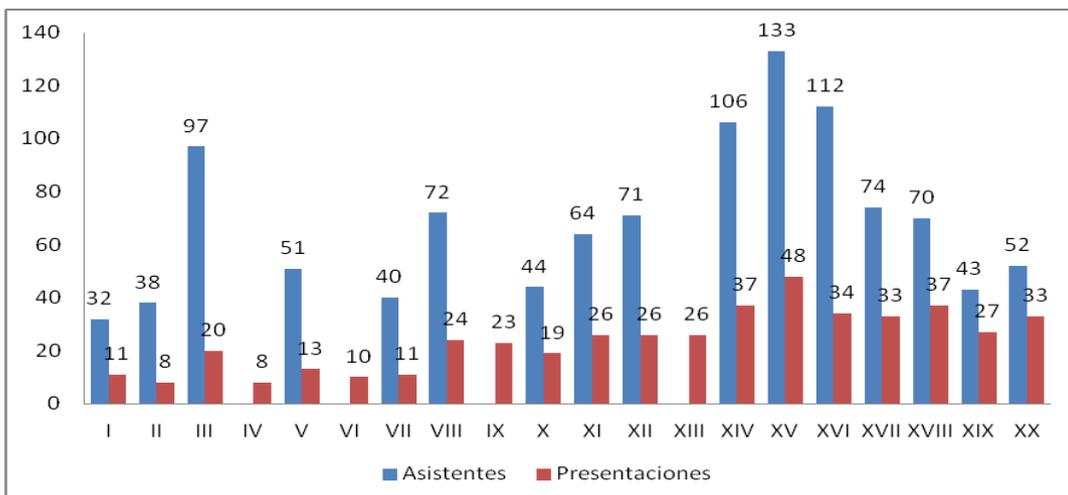


Fig. 22. Evolución del número de asistentes y de participantes en los Seminarios de Genética de Poblaciones y Evolución.



Fig. 23. Grupo familiar en casa de Francisco Ayala. Adultos, de izda a dcha: F. Ayala, Amparo Latorre y Andrés Moya (Navidad de 1985). (Cortesía de Andrés Moya).

sobre genética cuantitativa que luego adaptó para su tesis española bajo la supervisión de Prevosti. En 1973 se instaló como catedrático de Genética en Oviedo y aunque no dejó discípulos en el estricto sentido de la palabra dirigió las tesis de María Dolores Ochando, actualmente catedrática en la Complutense y especialista en genética de poblaciones, y de Miguel Ángel Comendador, quien más tarde le sucedió en la cátedra de Oviedo, con una orientación en mutagénesis. Dirigió también las tesis de Enrique Santiago, Jesús Albornoz y Ana Domínguez. Estos investigadores, actualmente activos en genética cuantitativa, iniciaron en 1987 una colaboración con Carlos Lopez-Fanjul para estudiar la naturaleza de la mutación espontánea para caracteres cuantitativos. Tras una estancia en la Universidad de Edimburgo en el laboratorio de William Hill, Santiago estableció una colaboración con Armando Caballero para un estudio teórico sobre el papel del tamaño efectivo y la acumulación de deletéreos. Albornoz y Domínguez han estudiado tasas de transposición espontáneas en *Drosophila*, orientándose posteriormente a temas de genética de la conservación y filogeografía, colaborando con Miguel Delibes y Sabine Essler (Viena). Actualmente han generado varios discípulos investigadores en universidades españolas y extranjeras.

En un panorama científico tan poco desarrollado como el nuestro existían amplios nichos vacíos que concitaron la atracción de muchos investigadores jóvenes talentosos. Esta proliferación dispersiva se produjo en los años de la expansión de la genética evolutiva (1980-2000). Como ejemplo podemos citar la especialización de la escuela de Prevosti, cuyos discípulos de primera e incluso sucesivas generaciones ocuparon dichos nichos (Fig. 24 y 25). El nicho de la genética evolutiva del desarrollo (EvoDevo) fue ocupado por Jaume Baguña, un estudioso de la regeneración en planarias que devino experto en la filogenia

molecular del desarrollo y creó una escuela con dignos discípulos de talla internacional. El enfoque molecular fue adoptado por dos discípulas, Roser Gonzalez y Montserrat Aguadé. La primera con una formación sólida en química fue pionera en la introducción de las técnicas moleculares, entre ellas la ya mencionada aplicación de la electroforesis, en el estudio evolutivo-poblacional, especializándose posteriormente, desde 1998, en el estudio genético y genómico de las bases genéticas y moleculares de las patologías hereditarias de la visión humana en que ha alcanzado un gran prestigio. La segunda ha desarrollado un grupo de genética de poblaciones y evolución molecular evolutiva asociada con investigadores teóricos, entre los que destaca Julio Rozas, alcanzando un gran renombre en el estudio de la detección de la acción de la selección natural en genes candidatos y en regiones candidatas y anónimas, así como en el efecto de la recombinación sobre la variabilidad nucleotídica. Ya he mencionado como Luís Serra, el discípulo más identificado con el trabajo de Prevosti en poblaciones naturales, ha dedicado las últimas décadas a estudiar el valor adaptativo de las clinas latitudinales de las poblaciones emigrantes de *Drosophila subobscura*. El trabajo de su grupo, formado por investigadores seniors cualificados entre los que destacan Marta Pascual, Francesc Mestres y Joan Balanyà, ha merecido reconocimiento internacional en las mejores revistas especializadas por su valor teórico y también por sus implicaciones en el calentamiento global.

Mi grupo de Biología Evolutiva de la UAB, del cual ya he esbozado un itinerario, experimentó, después de un periodo de cohesión, la inevitable diáspora. Muchas de las líneas iniciadas en él fueron desarrolladas, muchas veces con mayor mérito, por algunos de mis discípulos. Horacio Naveira (Universidad de A Coruña) amplió su trabajo de tesis sobre la arquitectura genética de la esterilidad híbrida llegando a formular un modelo poligénico de umbral, que ha sido confirmado por trabajos recientes de nuestro grupo. Alfredo Ruiz adoptó el modelo de elementos móviles para estudiar su papel en el origen de las inversiones cromosómicas y en algunos mecanismos génicos reguladores. Mauro Santos abordó el estudio empírico de la adaptación térmica utilizando el polimorfismo cromosómico de *D. subobscura* como marcador genético y la resistencia a la temperatura como carácter fisiológico. Este trabajo se ha hecho en colaboración con el grupo de Luis Serra, dentro de un grupo polivalente asociado relacionando los resultados de laboratorio con los obtenidos en las clinas emigrantes latitudinales de dicha especie. Otros antiguos miembros del grupo han desplazado su actividad a distintos lugares. Por ejemplo, Armand Sánchez es actualmente investigador de la Facultad de Veterinaria de la UAB y

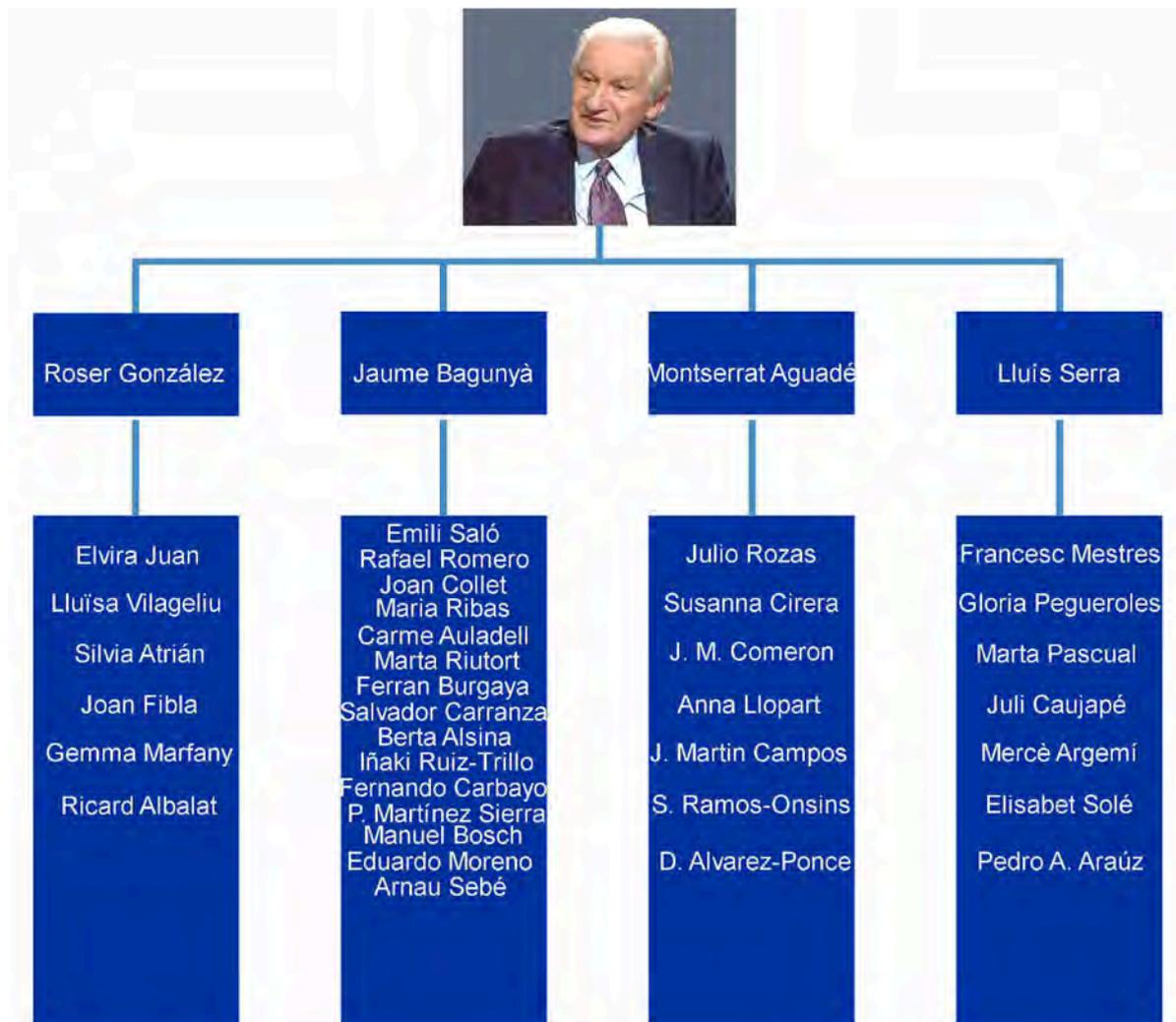


Fig. 24. Algunos doctorandos de discípulos de Antoni Prevosti componentes de grupos de investigación en el Departamento de Genética de la Universidad de Barcelona. Ver texto para más detalles.

Carles Pla lo es de la Universidad de Girona. También se incorporaron nuevos miembros, como María Pilar Garcia-Guerreiro, doctora de Christian Biémont por la Universidad de Lyon (Francia) y actualmente liderando un laboratorio de evolución en elementos transponibles en nuestro grupo de la UAB, y Francisco Rodríguez-Trelles, antiguo doctorando de Gonzalo Álvarez y Carlos Zapata, que desarrolla una investigación sobre la variación estacional del polimorfismo cromosómico en relación con la adaptación térmica.

La huella de Prevosti y de otros genéticos en los investigadores de varias generaciones es también evidente en diversos linajes de sus discípulos. Aquí me interesa resaltar un caso ejemplar. Actualmente existe en Vigo un grupo de genética de poblaciones y citogenética fundado en 1996 por Emilio Rolán y Armando Caballero, doctorandos, el primero de Gonzalo Álvarez y el segundo de Carlos López-Fanjul. Desde entonces el grupo ha ido ampliándose con Paloma Morán (doctoranda de Eva Garcia-Vazquez), Juan José Pasantes (de Josefina

Méndez), Humberto Quesada (de Gonzalo Álvarez), Antonio Carvajal (de Horacio Naveira) y algunos otros más jóvenes doctorandos de investigadores del grupo. Es un grupo con un carácter pluridisciplinar con base evolutiva cuyo estudio abarca desde el origen de las mutaciones, sus efectos sobre los organismos y los procesos poblacionales hasta su implicación en la adaptación y la especiación. Estos trabajos de evolución básica y también los de orientación aplicada en conservación tienen relieve internacional como lo atestigua su alta visibilidad en las publicaciones de evaluación del SCI. Interesa resaltar aquí como los componentes del grupo descenden de linajes fundadores de investigadores españoles que se han reunido para potenciar su formación de un modo interdisciplinar (teórico, citogenético, evolutivo, ecológico, molecular y computacional).

Otros grupos independientes

Actualmente se han consolidado también otros grupos y personas cuyo origen fue prácticamente

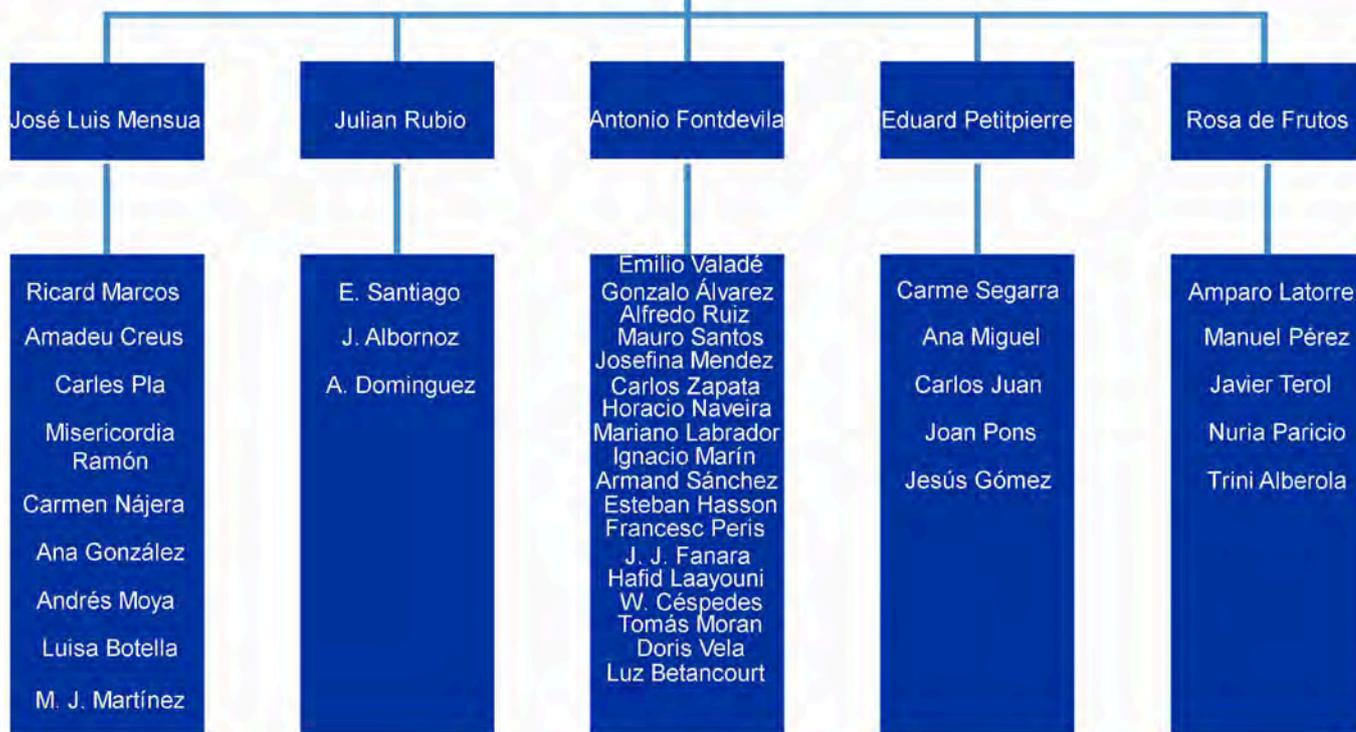


Fig. 25. Algunos doctorandos de discípulos de Antoni Preosti componentes de grupos de investigación en diversos departamentos de universidades españolas. De izquierda a derecha: U. de Valencia (J.L. Mensua), U. de Oviedo (J. Rubio), U. de Santiago y U. Autónoma de Barcelona (A. Fontdevila), U. de les Illes Balears (E. Petitpierre), y U. de Valencia (R. de Frutos). Ver texto para más detalles.

independiente de los grupos pioneros en genética de poblaciones. El desenfoco poblacional-evolutivo de muchos laboratorios españoles en la década de los setenta propiciaba que licenciados jóvenes con cierta inclinación evolutiva aceptaran por necesidad un lugar de trabajo en biología funcional. Afortunadamente algunos fueron capaces, no sin tomar grandes decisiones y con mucho esfuerzo individual, de orientar su carrera hacia la biología evolutiva poblacional. Veamos algún ejemplo. Juan Pedro Camacho fue contratado como profesor ayudante por Amadeo Sañudo en Granada dos meses antes de trasladarse éste a la Universidad Autónoma de Madrid, quedando Antonio Pretel, profesor adjunto, como único numerario del Departamento y único posible director de tesis. Era un Departamento de citogenética y a Camacho le fue asignado el estudio de la citogenética de saltamontes, cuyas técnicas de disección tuvo que aprender por su cuenta puesto que en el laboratorio todo el mundo trabajaba en plantas. Manuel Ruiz Rejón y Rafael Díaz de la Guardia figuraron finalmente como directores de su tesis,

pero Camacho fue un autodidacta, trabajando sobre la marcha, llegando a entender la variabilidad cromosómica de los saltamontes y, finalmente observando los cromosomas B, cuyo significado poblacional como elementos parásitos primero y neutralizados (domesticados) después por el genoma hospedador, le llevaron a formular un modelo de evolución casi neutra. Camacho es actualmente un referente internacional sobre cromosomas B y su grupo, aunque de origen citogenético, ha incorporado la genética de poblaciones a su investigación junto con la genómica y la genética molecular. Actualmente este grupo cuenta con investigadores de mérito que se han ido incorporando a lo largo de los años. Primero su esposa, Josefa Cabrero, cuya tesis dirigió y con la que dieron el primer paso hacia la citogenética de poblaciones. Después Lola López León, cuya tesis versó sobre el modelo de domesticación de los elementos B y cuya investigación prosigue hasta el momento. A finales de los 90 Francisco Perfectti fue enviado por Camacho como posdoc con Jack Warren (U. de Rochester) a investigar en cromosomas B de

Nasonia y desde entonces se incorporó al grupo dándole el toque más poblacional a su trabajo. Posteriormente las incorporaciones y los contactos con otros científicos nacionales y extranjeros se han prodigado y están ampliando el conocimiento genómico de la naturaleza y la adaptación de los elementos B. En resumen, el grupo de Camacho es un ejemplo de una obra de autorealización con unos principios desarraigados de una escuela genético-poblacional, típico de un paisaje científico invertebrado, pero con un desarrollo final novedoso y encomiable, y es un ejemplo de vocación, persistencia, disciplina y sentido científico.

En otros casos el contacto con la genética de poblaciones se inició exitosamente pero el investigador fue cambiando su interés hacia otras materias evolutivas relacionadas. En los años 70 Manuel Ruiz Rejón realiza su tesis doctoral dirigida por Amadeo Sañudo en la universidad de Granada e inicia una línea de investigación sobre citogenética de poblaciones naturales de plantas tomando como guía los trabajos de Prevosti. Así, en el verano de 1975 un doctorando de Granada, José L. Oliver, fue enviado al laboratorio de Prevosti a aprender la técnica de electroforesis y familiarizarse con la investigación de punta en genética de poblaciones. Esta incorporación técnica y teórica consolidó el grupo de Granada. Trasladado Oliver a la Autónoma de Madrid completó su tesis sobre variabilidad genética en plantas, dirigida por Sañudo y Manuel Ruiz-Rejón, y continuó su formación asistiendo a las clases de genética de poblaciones impartidas por Torroja. Ya en 1986 junto con Antonio Marín y Juan Ramón Medina iniciaron un trabajo conjunto sobre la dinámica de la sustitución nucleotídica. Esta incursión en la bioinformática supone para Oliver “su contribución más relevante”. En 1993 Oliver organizó el seminario de Bubión (Alpujarra) y supuso su despedida de la genética de poblaciones pero no de la evolución molecular a través de la bioinformática y la genómica, donde sigue completamente activo. El grupo de Granada continuó con la línea de poblaciones pero inició una línea de investigación sobre manipulación cromosómica en peces con marcadores moleculares, los mismos que se usaron en estudios de cromosomas B y de filogenia. Actualmente el grupo, liderado por Carmelo Ruiz Rejón (catedrático) y Roberto de la Herrán Moreno (profesor titular) ha investigado la determinación sexual y el origen y la evolución de los cromosomas sexuales de diversas especies vegetales.

En cuanto a Medina, hizo la tesis con Enrique Cerdá, uno de los genéticos españoles más ilustres, sobre un modelo matemático del comportamiento del hongo *Phycomyces*. Finalmente en 1976 pasó al Laboratorio de Genética de Poblaciones de la Universidad de Paris-VII, dirigido por Claudine Petit, donde

completó su formación en genética de poblaciones y evolución bajo una perspectiva teórica. Sus discípulos más destacados han sido José Luis Micol, un experto en genética del desarrollo; Rafael Garcés Mancheño, especializado actualmente en el control genético de la síntesis de lípidos; Francisco Rodríguez Marcos, autor de modelos topológicos aplicables a la Biología. Aunque Medina ha desarrollado una actividad muy polifacética, entre ellas la política, me interesa citarlo aquí porque creo que es una mente valiosa que incidió también en la genética de poblaciones teórica y contribuyó a enriquecer el paisaje no siempre muy constructivo de la educación de la evolución biológica en nuestro país; muy especialmente debido a su influencia en otros científicos más jóvenes.

CODA: La genética de poblaciones en el contexto universitario actual

En las últimas décadas hemos asistido a una proliferación de centros de investigación biológica que se inició con la fusión de varios centros en el Centro de Biología Molecular “Severo Ochoa” en Madrid en 1975, donde la genética tenía un papel preponderante de manos de investigadores importantes como Antonio García-Bellido o Juan Modolell. Desde entonces se han creado muchos centros de alto nivel, algunos de los cuales sitúan la genética, en general, y la genética evolutiva y de poblaciones, en particular, en un lugar destacado, citando como ejemplos el Centro de Regulación Genética (CRG) de Barcelona, el Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de Valencia y el Grupo de Medicina Genómica de Santiago de Compostela. En el primero existen investigadores relevantes en genética de poblaciones como Jaume Bertranpetit, promotor del Institut de Biologia Evolutiva en la universidad Pompeu y Fabra (UPF) y director del Spanish National Genotyping Center, y Arcadi Navarro, doctorando con Alfredo Ruiz (1998) y actualmente director del departamento de Ciencias Experimentales y de la Salud (UPF) y del proyecto EGA (European Genome-phenome Archive) en el CRG. Del Instituto Cavanilles ya hemos hablado al mencionar la trayectoria de Andrés Moya, del que fue su primer director. El Grupo de Medicina Genómica de Santiago está dirigido por Angel Carracedo, uno de los genéticos españoles de más nombre internacional, y cuenta con investigadores como Xulio Maside, doctorando de Horacio Naveira, y Javier Costas, de Horacio Naveira y Emilio Valadé, que han publicado trabajos en genética de poblaciones humanas y de *Drosophila*. Estos centros cumplen una misión importante en el progreso de la ciencia y merecen nuestro apoyo.

Sin embargo, nuestro país sigue teniendo una gran asignatura pendiente sin cuya aprobación

difícilmente resolverá nuestro desarrollo como comunidad científica. Ninguna universidad española se encuentra entre las 150 primeras en el mundo (ver <http://www.timeshighereducation.co.uk/world-university-rankings/2014-15/world-ranking>; y http://www.nature.com/nature/journal/v515/n7526_supp/fig_tab/515S98a_T2.html). Y no existe en el mundo ningún país de primera línea en ciencia que no tenga una estructura universitaria de primer orden. La institución universitaria española es un fracaso de nuestra sociedad. Nuestras universidades incluyen oasis donde se cultiva la ciencia en mayúscula pero en su globalidad siguen siendo aquellos desiertos científicos de los que se quejaban insignes compatriotas como Cajal.

Durante los dos últimos siglos se han decretado numerosas leyes universitarias, pero ninguna ha tenido éxito. Cabe preguntarse por qué. La respuesta no es fácil, pero, a fuer de simplificar me atrevería a apuntar que tiene dos coordenadas básicas: la falta de un sistema riguroso meritocrático de selección del profesorado y la verdadera autonomía de gestión universitaria frente a los lobbies claustrales. Respecto a la primera, es impensable apoyar nuestro sistema de selección cuando recientes informes indican que más del 50 % de nuestro profesorado estable tiene una actividad investigadora prácticamente inexistente, lo cual se refleja en que más de la mitad de nuestros tramos de investigación posibles se hallan sin ocupar. Creo que estos datos son globales y no se aplicarían a nuestra especialidad, pero constituyen un grito de alerta. Referente a la segunda coordenada, nuestra gestión universitaria está mediatizada por la captación de votos en los claustros procedentes de aquellos mismos colectivos que deberían someterse a revisión. Cuando se discuten los presupuestos suele enfatizarse mucho la limitación de los mismos, pero nunca se aborda la distribución que se hace de los recursos disponibles. Los recortes presupuestarios son indeseables e inciden negativamente, pero la falta de criterio en su distribución es mucho más pernicioso. Así, por ejemplo, desde 1997 a 2009 el gasto por estudiante aumentó en más del doble, pasó de 2394 a 5118 euros, y el número de alumnos por profesor disminuyó de 20 a 12, un valor por debajo de la media de la Unión Europea (ver Clara Eugenia Núñez, 2013. Universidad y ciencia en España: Claves de un fracaso y vías de solución, Madrid: Gadir). Estas cifras, sin embargo, aunque deberían indicar una mejor calidad en la formación no ha sido así. El índice de correlacionar directamente el gasto con la calidad es un argumento políticamente vendible, pero falso si no va acompañado por una estructura institucional que distribuya el gasto racionalmente y seleccione sus agentes (en este caso los profesores e investigadores) por su mérito.

Con la crisis estamos en una verdadera encrucijada. Aunque con dificultades, saldremos de la crisis, pero no es seguro que aprovechemos esta lección para hacer la verdadera reforma, mejor diría refundación, que la universidad necesita. Esta refundación puede ser traumática pero necesaria, aunque posiblemente lenta, y pasa por un cambio de autonomía de gestión de recursos, incluyendo los humanos. Esto último significa trasladar los órganos de decisión de distribución de recursos desde la actual estructura interna claustral académica a una estructura claustral paralela sin intereses personales directos (clientelistas) en la universidad. Puesto que la universidad pública está financiada por la sociedad, ésta debe tener una voz determinante en dicho claustro paralelo y ejercer su poder para un reparto de recursos que premie a aquellos departamentos, grupos de investigación, o agentes creativos que demuestren una mayor calidad en su productividad docente y científica. Durante mucho tiempo hemos vivido amparados por el falso principio “roussonian” del “café para todos”. Esto tiene que terminar si queremos que alguna de nuestras universidades figure, por lo menos, entre las primeras 50 de nuestro mundo. En todas las universidades punteras, desde Stanford a Cambridge, desde Humboldt a La Sorbonne, existe una gestión meritocrática de los recursos, tanto en su faceta de material instrumental y fungible como en la selección de su profesorado, docente y/o investigador. Hemos de admitir que nuestra transición del franquismo no acertó en este empeño, a pesar de las buenas intenciones de la LRU. Tanto en la LRU como en las posteriores leyes universitarias, se perpetuó en gran parte el sistema del antiguo régimen, un sistema uniformizador, incapaz de ser atractivo para los jóvenes con talento, y muy burocratizado, sin premiar la innovación y la calidad científica lo suficiente. Afortunadamente, y a pesar de estas trabas, algunas disciplinas como la genética, y la de poblaciones en particular, han visto la emergencia de grupos de excelencia en España que las han situado en lugares punteros en el concierto internacional. Esta emergencia evidente no debe obnubilarnos cuando la contemplamos en un paisaje científico global en que nuestras universidades siguen siendo de segunda fila. Esta situación de progreso aparente es insostenible en un marco universitario mediocre y no hay ninguna nación que pueda soportar tamaño distorsión; a no ser que las instituciones científicas extrauniversitarias se articulen y potencien con gran eficacia su vertebración con las universidades, y esto está todavía por ver. La refundación debe partir de los órganos sociales, estatales y autonómicos, con una voluntad verdadera de cambio. O así me lo parece.

Agradecimientos

Este artículo es una transcripción ampliada de la conferencia invitada pronunciada en el *XX Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución*, Granada 2014. Agradezco a los organizadores del seminario su invitación.

Debo agradecer también a muchos colegas su aporte de información sobre múltiples aspectos aquí desarrollados, en particular su cesión de material gráfico. Entre ellos cabe citar a Amando Ordás, Carlos López-Fanjul, Jaume Bagunyà, Roser González, Montserrat Aguadé, Luís Serra, Andrés Moya, Rosa de Frutos, Eduard Petitpierre, Carmelo Ruiz Rejón, Arcadi Navarro, Paulino Martínez, Juan Pedro Camacho, Ana Dominguez, José Luis Oliver, Humberto Quesada, Juan Ramón Medina, Luís Silió, Juan Ramón Lacadena y otros. Este artículo debe mucho a su ayuda, pero cualquier argumento en él es sólo responsabilidad del autor.

Referencias

- Hubby, J.L. y Lewontin, R.C. 1966. A molecular approach to the study of genic heterozygosity in natural populations. I. The number of alleles at different loci in *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics* 54: 577-594.
- Kimura, M. 1968. Evolutionary rate at the molecular level. *Nature* 217: 624-626.
- Lewontin, R.C. y Hubby, J.L. 1966. A molecular approach to the study of genic heterozygosity in natural populations. II. Amount of variation and degree of heterozygosity in natural populations of *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics* 54: 595-609.
- Pinar, S. y Ayala, F. 2003. Antonio de Zulueta y los orígenes de la Genética en España. Pp. 165-201. En: Milagros, C. (ed.) *Los Orígenes de la Genética en España*. Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales, Madrid.
- Prevosti, A. 1955. Geographical variability in quantitative traits in populations of *Drosophila subobscura*. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 20: 294-299.
- Silió, L. y Malpica, J.M. 2003. Miguel Odrizola Pietas, ilustrado criador de cerdos. Pp. 335-357. En: Milagros, C. (ed.) *Los Orígenes de la Genética en España*. Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales, Madrid.

Información del Autor

Antonio Fontdevila es Catedrático Emérito de Genética y ex-Director del Grupo de Biología Evolutiva de la Universidad Autónoma de Barcelona, coordinado con la Universidad de Barcelona (1995-2009). Durante su larga carrera científica ha dirigido 18 tesis doctorales, ha sido profesor visitante en más de 20 universidades en todos los continentes y ha sido conferenciante invitado más de 35 veces en 10 países diferentes. Es y ha sido editor asociado de varias revistas y ha sido miembro del consejo de la European Society for Evolutionary Biology (1993-1997). Ha participado en 30 proyectos de investigación nacionales e internacionales, en 24 de ellos como investigador principal. Ha publicado más de 140 artículos y capítulos de libros con revisores internacionales. Es editor de un libro (*Evolutionary Biology of Transient Unstable Populations* (1989), Springer-Verlag, Berlin), co-autor de tres libros (*Introducción a la Genética de Poblaciones* (1999); *Evolución: Origen, Adaptación y Divergencia de las Especies* (2003); *La Evolución Biológica: Una Reconstrucción Darwinista* (2013), Ed. Síntesis, Madrid) y autor del libro: *The Dynamic Genome: A Darwinian approach* (2011), Oxford Univ. Press, Oxford. Es fundador del Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución en España y ha organizado tres congresos internacionales, entre los que destaca el Seventh Congress of the European Society of Evolutionary Biology (Bellaterra, 1999). Las aportaciones más relevantes de su grupo de investigación se centran en la medida de la aptitud en las estrategias de vida de las poblaciones naturales, la adaptación térmica, la ecología y la genética evolutiva de la colonización, la sistemática del complejo buzzatii (*Drosophila*), la evolución molecular y la genética de poblaciones de los elementos transponibles, la inestabilidad híbrida producida por dichos elementos y la evolución del aislamiento reproductivo postzigótico.

El altruismo desde el punto de vista de nuestros memes

Hernán Pérez Ramos

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

RESUMEN

Aunque todo parece indicar que nuestro comportamiento Altruismo está firmemente enraizado en nuestro genoma, en este artículo intentaremos, primero, exponer que es muy improbable que los actos altruistas puedan tener una base genética por lo que casi con toda seguridad son consecuencia del desarrollo cultural de las especies que los muestran. Seguidamente expondremos como la capacidad cognitiva existente en algunas especies de primates pudiera ser capaz de concebir los conocimientos imprescindibles para que a partir de ellos aparezcan conductas altruistas. Y por último analizaremos como estos conocimientos podrían convertirse en comportamientos, probablemente, gracias a su asociación con comportamientos de transmisión genética, quienes les cederían la posibilidad de hacer uso de las sensaciones y emociones que controlan para que estos nuevos comportamientos (el altruismo por ejemplo) dispongan de la capacidad de obligar y motivar al individuo para que cumpla con su cometido. *eVOLUCIÓN 9(2): 27-59 (2014)*.

Palabras Clave: Altruismo, Reciprocidad, Implicaciones Causales de Cadena Corta, Conocimientos Simples, Clan, Comportamientos Innatos, Territorialidad.

ABSTRACT

Although it appears that our altruistic acts have a genetic origin, in this article we will discuss this unlikely. Explain how the cognitive mind can create knowledge in our altruism is based. Finally analyze whow this knowledge become our behaviors, by partnering their innate bahaviors who allow then to use their emotions and feelings to make the own individual complacent with its mandate. *eVOLUCIÓN 9(2): 27-59 (2014)*.

Key Words: Altruism, Reciprocity, Causal Implications Small Chain, Simple Knowledge, Clan, Innate Behaviors, Territoriality.

Introducción

Tomas H Huxley, contemporáneo, defensor y gran amigo de Darwin consideraba que la naturaleza humana no era moral sino egoísta, para él la moral actuaría como una fina capa que oculta y mitiga los rasgos negativos de esa naturaleza egoísta. Huxley no se ocupó de explicar como la especie humana ha obtenido la voluntad y la fuerza para luchar contra su propia naturaleza egoísta. Castro (2012). En este artículo intentaremos explicar como nuestros conocimientos se convierten en comportamientos, lo que es lo mismo que decir que trataremos de analizar como las normas sociales de convivencia, las ideas acerca de lo correcto y de lo que no se debe hacer se pudieran interconectar con alguno de nuestros comportamientos innatos para así convertirse en un comportamiento, es decir, para poder tener la posibilidad de hacer que el individuo cumpla con el cometido que a estas normas de conducta les concierne. En esencia, intentaremos analizar como nuestros conceptos morales adquieren la fuerza y la potestad necesaria para controlar nuestros impulsos egoístas. Basaremos el artículo en el estudio de uno de los comportamientos propios de nuestra

especie que parecen desmentir las ideas de Huxley acerca de nuestra naturaleza egoísta, el Altruismo.

¿Qué nos hace pensar que el comportamiento Altruismo es genético?

Primero tenemos que tener en cuenta el hecho de que los comportamientos que integran y que a la vez son los seres animados, son de dos clases, los primeros se transmiten a través del genoma y disponemos de ellos como consecuencia del propio desarrollo ontogénico del cerebro. Los segundos, que al parecer solo existen en aves y mamíferos, son el resultado de un conocimiento descubierto por un individuo y se transmiten de generación en generación a través del aprendizaje. Así que si es el caso de que un comportamiento no pertenece a uno de los dos grupos asumimos que pertenece al otro. Después es preciso que visualicemos que nuestros actos altruistas con toda probabilidad disponen, al igual que el resto de nuestros comportamientos innatos, de la posibilidad de emplear poderosísimas sensaciones, sentimientos y emociones para

obligar al individuo a cumplir con su cometido. A veces sentimos una imperiosa necesidad de ayudar a alguien que se encuentra en una situación en extremo difícil, una vez que lo hemos hecho notamos una indescriptible sensación de satisfacción, pero si no ayudamos a este individuo sufrimos una poderosísima sensación de autorreproche y de malestar con nosotros mismos, nos sentimos endiabladamente mal y culpables y esta sensación nos dura bastante tiempo. Las sensaciones y emociones que acompañan a nuestro comportamiento Altruismo son excepcionalmente poderosas hasta tal punto que logran, en algunos casos, que hagamos cosas que no nos benefician. Así que teniendo en cuenta el hecho de que las emociones y sensaciones que nos provocan todo los comportamientos inalienables a la vida (miedo, hambre, furia, aversión, deseo sexual, cariño, frío, enfado, sed) son tan poderosas como las emociones y sensaciones que nos provoca nuestro comportamiento Altruismo (compasión), se nos hace del todo absurdo el hecho de suponer que dicho comportamiento no estuviera férreamente anclado en la biología de nuestro cerebro. También tenemos que valorar la circunstancia de que se han descrito y comprobado comportamientos de cooperación en los grandes simios, especialmente entre los chimpancés y bonobos, en otras muchas especies de mamíferos sociales y hasta en aves. El hecho de que esta variedad de comportamientos existan en seres que no poseen una cultura como la nuestra, casi con toda seguridad nos sugiere que el comportamiento no puede ser de índole cultural y por ende debe estar anclado en los genes. Hecho este que hace probable que nosotros hayamos heredado de nuestros parientes los fundamentos del nuestros actos altruistas, elevándolos con el tiempo a una fase muy superior.

Pruebas de que el altruismo en nuestra especie se transmite a través de los Genes

Existe un interesantísimo experimento realizado por Michael Tomasello y Felix Warneken en el Instituto Max Planck que parece demostrar, aparentemente fuera de toda duda, que el altruismo en nosotros es consecuencia de un input genético. Las pruebas se han realizado con niños de año y medio aun sin socializar, en ellas el experimentador hace como si se le ha caído algo, por ejemplo una pinza de tender la ropa, sin mirar en ningún momento al niño para no darle ninguna pista de lo que se debería hacer, los pequeños se agachan sin que nadie les diga nada, recogen la pinza y se la ofrecen al experimentador. Estos experimentos también fueron replicados en chimpancés jóvenes obteniéndose resultados bastante similares a los de los niños. Tomasello y Warneken (2006).



Fig. 1. Este experimento parece demostrar que nuestra inclinación hacia el altruismo es innata.

Este experimento es admitido por la inmensa mayoría de la comunidad científica que estudia las conductas de cooperación y el Altruismo como una prueba incontrovertible de que este comportamiento en nuestra especie nos viene de serie porque se cree que los niños a esa edad no disponen de la inteligencia necesaria como para que puedan entender que es bueno, conveniente y bien visto ayudar a los demás. A pesar de la apariencia incontestable de estos resultados, en este artículo se intentará explicar que es muy probable que existan mecanismos cognitivos en nuestro cerebro que trabajan a un nivel tan elemental, tan básico, que es posible que ya a esa temprana edad se haya desarrollado en la mente de los niño el conocimiento: es bueno para nosotros (imagen consecuencia) ayudar a los demás (imagen causa). Y que también es muy probable que dicho conocimiento se haya convertido en un comportamiento capaz de activar las emociones y sensaciones que generan en el individuo la necesidad de ayudar a los otros.

En resumen, la circunstancia de que hayan sido descritos comportamientos altruistas en especies que no poseen una cultura tan sofisticada como la nuestra y el hecho de que las emociones y sensaciones asociadas a los actos de cooperación son igual de poderosas que las emociones que nos imponen los comportamientos que hacen que las especies existan, los que nos hacen egoístas, parecen estar diciéndonos que con toda seguridad el comportamiento Altruismo está firmemente anclado en nuestro genoma. Pero a pesar de esto y de las pruebas que parecen demostrarlo, ahora explicaremos por que es casi por completo improbable que el comportamiento Altruismo tenga un origen genético y en consonancia podría ser imposible que se transmita de padres a hijos por esta vía.

Predecible imposibilidad de que nuestros actos altruistas tengan un origen genético

¿Por qué es casi imposible que el altruismo sea un comportamiento que existe y se transmite gracias a una modificación de índole genética? Tengo la impresión de que la respuesta a esta importantísimo acertijo pidiera ser mucho más sencilla de lo que jamás podríamos imaginar. Veamos, cuando aparece la corteza prefrontal y con ella surge la posibilidad de que algunas especies desarrollen comportamientos que se transmiten por vía del aprendizaje, es muy probable que la selección natural deje de actuar sobre los genes que regulan el desarrollo de las estructuras neuronales que se encargan de codificar nuestros comportamientos.

Comencemos la explicación utilizando ejemplos en los que podamos observar cuando y por que razones la selección natural pudiera dejar de actuar. Santiago Merino en su magnífico libro "*Hechos por la Enfermedad*", nos explica que las enfermedades configuran la parte de nuestro genoma que controla nuestro sistema inmune porque solo sobreviven a ellas los individuos que han desarrollado los medios para combatirlas. Ello sucede como consecuencia de que después de una gran pandemia prolifera y fructifica aquel genoma que anteriormente había desarrollado resistencia para esa enfermedad. Pero sucede que cuando aparece una vacuna efectiva contra un determinado agente patógeno este pierde la capacidad de afectar a los individuos vacunados y como consecuencia, genomas no resistentes a dicha enfermedad siguen siendo transmitidos a las postreras generaciones. Ello es un ejemplo de que con el surgimiento de las vacunas la selección natural, en este caso representada por las enfermedades, deja de actuar sobre los genes que configuran nuestro sistema inmune.

Pongamos otro ejemplo. Nosotros no tenemos necesidad que la selección natural nos desarrolle un pico fino que nos permita extraer objetos de dentro de pequeños agujeros porque para ello hemos inventado las pinzas, ni tampoco necesitamos tener una fuerza descomunal para hacer determinadas cosas porque inventamos la palanca, ni tampoco necesitamos que la selección natural nos pusiera alas para poder volar. Es decir, cuando el desarrollo de la corteza prefrontal es tan grande que permite que una especie construya herramientas para diferentes usos, deja de ser necesario que la selección natural genere modificaciones en la estructura física de los individuos destinadas a que estos puedan acrecentar su nivel de adaptación al medio. Lo que es lo mismo que decir: que desaparece la necesidad de que la selección natural actúe sobre la parte del genoma que codifica la formación y el desarrollo de la estructura física del individuo. Para plantearlo de otra forma, con la aparición de la corteza



Fig. 2. La selección natural no necesita endurecer el estómago de las nutrias para que estas puedan golpear en ellos a los moluscos debido a que estas han aprendido a usar una piedra como yunque para abrirlos.

prefrontal la carrera por dotar a los individuos de cada vez mejores adaptaciones físicas pasa del terreno de los genes al campo de los memes.

Veamos ahora que sucede con la parte del genoma que se encarga de regular la formación de las estructuras neuronales que codifican nuestros comportamientos. Son innumerables los ejemplos de comportamientos que se transmiten de generación en generación por medio del aprendizaje en el marco de las especies cuyos miembros forman sociedades. Cada uno de estos comportamientos fue desarrollado a la carta con el objetivo de solucionar un determinado reto de subsistencia como puede ser, comer termitas (chimpancés), lavar boniatos (macacos japoneses), pescar en un banco de peces utilizando redes de burbujas (ballenas), desestresar a un rival (chimpancés y bonobos), hacer un amigo (chimpancés, bonobos y delfines), pescar en la orilla de la playa utilizando la pendiente (delfines), montar un sistema de vigilancia de fronteras efectivo contra intrusos (chimpancés), encontrar una fuente de agua (elefantes), abrir la concha de un molusco usando una piedra como yunque (nutrias marinas), sacar los bichos parásitos de sus estómagos usando hojas ásperas (chimpancés), obtener las sales necesarias raspando con los colmillos paredes de roca (elefantes), abrir una nuez (chimpancés), cazar y matar a una presa de forma coordinada (leones, chimpancés y lobos) y un infinito grupo de ellos. Todos estos comportamientos, como mencionamos, multiplican la capacidad de adaptación de sus portadores y su existencia hace completamente innecesario que la selección natural tenga que modificar la parte del genoma que controla la formación de los núcleos neuronales que codifican comportamientos con el objetivo de que estas nuevas formas de actuar aparezcan. En otras palabras, el que exista en la corteza prefrontal un sistema cognitivo capaz de generar a la carta, y en el marco de un reducido espacio de tiempo

estos comportamientos destinados a que el individuo sea más competitivo, hace por completo innecesario que la selección natural tenga que actuar sobre el genoma para que estos comportamientos aparezcan.

Aún así sería lícito pensar que existe la posibilidad de que la selección natural podría estar obrando sobre los genes, al mismo tiempo que el sistema cognitivo hace su trabajo para confeccionar comportamientos que otorguen mejor adaptabilidad a sus portadores. Así que el que exista en la corteza prefrontal un sistema cognitivo capaz de hacer esta función de crear y transmitir nuevos comportamientos, predeciblemente no invalidaría el funcionamiento de la selección natural para esta misma tarea. Pero ello probablemente no es así, veamos. La selección natural depende en última instancia de modificaciones genéticas que ocurren al azar, así que la probabilidad de que una determinada variación en los genes sea la que codifica el tipo de comportamiento que, por ejemplo, pudiera necesitar una especie para poder explotar una buena fuente de alimentos, es bastante reducida. Por lo que probablemente se requiere de que pase mucho, mucho tiempo, quizás millones de años de mutaciones y recombinación genética para que apareciesen individuos provistos del comportamiento necesario. Por su parte el sistema cognitivo que existe dentro de la corteza prefrontal es capaz de generar a la carta nuevos comportamientos destinados a resolver problemas específicos a los que tienen que enfrentarse los individuos de una especie. Y en la medida que la selección natural mejora las capacidades cognitivas, el lapso de tiempo que se necesita para que aparezca y prolifere un nuevo comportamiento se reduce cada vez más. Solo en los últimos cien años hemos sido testigos de la aparición de dos comportamientos desarrollados por los memes de primates, el comportamiento de lavar los boniatos en el agua descubierto por los macacos japoneses de la isla de Koshima y el comportamiento de acicalar a un amigo con apretón de manos desarrollado por los chimpancés del refugio de Chimfunshi en Zambia. Es precisamente esto, la vertiginosa velocidad con la que es capaz de crear nuevos comportamientos el sistema cognitivo de la corteza prefrontal, lo que haría que la selección natural deje de tener necesidad de actuar sobre los genes que regulan la formación y el desarrollo de los núcleos neuronales que codifican nuestros comportamientos. Este es el razonamiento que nos conduce a pensar que el comportamiento Altruismo, a pesar de los experimentos que parecen demostrar que es de índole genética, podría ser sin embargo el resultado del obrar de nuestros memes.

¿Heredamos el "Altruismo" de los insectos eusociales?

Pero todavía nos falta otro aspecto de esta cuestión por analizar. Resulta que todo parece indicar que en nuestro genoma viajan a través del tiempo, desde nuestro pasado evolutivo, secuencias génicas que regulan la formación de una determinada estructura o la configuración de un comportamiento particular. Normalmente dichas secuencias génicas no se materializan en un comportamiento o en una estructura pero sin embargo hay momentos en los que estos genes recobran la capacidad de materializar la información que codifican. Ello nos conduciría a pensar que pudiera ser posible que podríamos haber heredado el Altruismo como consecuencia de que los genes que regulan los comportamientos de cooperación de los insectos eusociales (si fuese el caso de que nuestro genoma incorporase dichas secuencias génicas) volviesen a adquirir la capacidad de materializar su información. Pero en mi opinión el aparente Altruismo de los insectos eusociales no tiene absolutamente nada que ver con nuestro Altruismo ya que este último es un comportamiento diseñado para que individuos programados para competir los unos contra los otros, en el marco de situaciones específicas se presten ayuda, auxilio y cooperen entre ellos. Y por su parte los insectos eusociales, a excepción de las aspirantes a convertirse en reinas, no son individuos que están programados para competir entre ellos y como consecuencia no necesitan de un comportamiento Altruismo real. Ello nos conduce a pensar que predeciblemente no viaja en nuestro genoma ningún tipo de información que pueda materializarse en forma de nuestro comportamiento Altruismo. Por lo que esta opción pudiera ser casi del todo descartable.

Ventajas de la vía de transmisión cultural sobre la vía genética de transmisión del Altruismo

La transmisión genética del Altruismo ha traído de cabeza a un gran número de científicos evolucionistas durante mucho tiempo porque es muy difícil explicar como pudo haber surgido este comportamiento. Veamos. En teoría la transmisión genética del comportamiento Altruismo tendría que ser muy fácil de explicar en el marco de las especies que viven en sociedad, ya que el mayor éxito de una comunidad a la hora de poder ocupar o defender el mejor de los territorios depende de la mayor cantidad de individuos que la integren. Así que el que en un clan se establezca el comportamiento de ayudar a los que más lo necesitan mejora la supervivencia de estos componentes y como consecuencia el número de integrantes de este clan siempre va a ser mas alto que el número de

individuos que integrarían un clan que no desarrollan conductas altruistas. (Por supuesto sin tener en cuenta aspectos relacionados con el medio en el que viven como pueden ser cantidad de alimentos, existencia de agua, desgaste de la depredación, etcétera). Esta es la razón que llevaría a prevalecer al grupo social que haya integrado a sus comportamientos el Altruismo sobre el grupo social que no lo ha hecho y de esta manera se extendería el Altruismo a toda la población y a toda la especie. ¿Entonces donde está el problema para explicar el surgimiento del altruismo por vía genética? Expliquémoslo. Cualquier acto altruista (ya sea darle una parte de nuestro alimento a otro individuo, prestarle nuestra ayuda, acogerlo en nuestro refugio o simplemente dedicarle tiempo) resta eficacia biológica a quien lo propensa y hace crecer el fitness de quien lo recibe. Así que el Altruismo es un comportamiento que a nivel individual perjudica a su portador en beneficio de un competidor directo, circunstancia que hace imposible que sea transmitido por los genes, ya que la regla de oro que rige su transmisión es la búsqueda de la máxima eficacia biológica del vector en el que van a existir. La solución llegó de manos de William Hamilton con la "Teoría del parentesco" y de Robert Tribert con la Teoría del Altruismo Recíproco. Ambas hipótesis nos llevaron a comprender que el Altruismo se pudo extender a través de los individuos emparentados entre sí ya que nuestros parientes cercanos, hermanos y primos, comparten gran parte de nuestros mismos genes. Así que cuando ayudamos a un hermano o a un primo lo que en realidad sucede es que nuestros genes se están ayudando a sí mismos (están ayudando a copias de sí mismos que existen en otros vectores emparentados con nosotros). Y esto hace posible que, aun rigiendo la selección natural, apareciese un comportamiento que beneficia a los competidores en perjuicio de su portador.



Fig. 3. Cuando un comportamiento se transmite por la vía cultural, no solo pasa de padres a hijos, sino que también se difunde entre individuos no emparentados.

Sin embargo, si explicamos el surgimiento del altruismo por vía cultural desaparecen casi por completo los problemas que acabamos de mencionar. Es que los memes además de transmitirse de padres a hijos, a diferencia de los genes, pueden transmitirse también entre individuos no emparentados entre sí. Un ejemplo de ello es el caso del comportamiento de "Lavar los boniatos en el agua antes de comerlos desarrollado por los macacos japoneses de la isla de Koshima". Imo, la descubridora, no solo transmitió el nuevo comportamiento a su madre sino que también lo propagó a sus compañeros de juegos, individuos no emparentados con ella. Gómez (2007).

Así un comportamiento como el Altruismo podría ser transmitido por su descubridor a un conjunto de individuos pertenecientes al mismo Clan. Y al ser adoptado el comportamiento por varios miembros del grupo a la vez, en vez de por uno solo, las desventajas que ello reporta para el individuo portador del comportamiento disminuyen drásticamente porque los individuos que necesitan ayuda se repartirían entre todos los altruistas y como consecuencia cada vez sería menos el sacrificio que tendría que hacer un ser cooperativo y solidario en beneficio de otro. (Más adelante analizaremos las defensas que tiene el sistema límbico contra los parásitos que pudieran intentar aprovecharse de los portadores del comportamiento Altruismo). Por otro lado, como también explicaremos más adelante, es posible que los individuos se den cuenta de que es bueno ayudar a los otros porque ello hace que crezca el número de individuos con los que cuenta el clan, circunstancia que los beneficia a la hora de obtener o defender un buen territorio en el que vivir. Y como consecuencia de la adquisición de este conocimiento es posible que cada vez más individuos adopten y ejerzan conductas de cooperación, resultado de lo cual este grupo social tendría muchas más probabilidades de prevalecer en su lucha contra clanes rivales.

Un ejemplo de que el altruismo puede transmitirse a través de los memes en animales

La corneja negra es una especie en la que en algunas poblaciones los jóvenes ayudan a sus padres a sacar adelante la próxima nidada. Vittorio Baglione en la universidad de Uppsala, Suecia realizó un interesante experimento, se trajo desde allí huevos de corneja negra (en las poblaciones suecas de esta ave los jóvenes no ayudan a sus padres a cuidar de la próxima nidada) y los depositó en nidos de corneja negra del norte de España (aquí lo jóvenes sí ayudan a sacar a delante la próxima nidada). El resultado fue que los individuos nacidos de estos huevos asumieron el comportamiento característico de las poblaciones españolas, es decir, ayudaron a cuidar la próxima nidada. Este experimento

demonstró que al menos en la corneja negra el comportamiento Altruismo no es genético sino cultural (Soler 2012). Valorando el resultado de este esclarecedor experimento me surge la pregunta. Si el pequeño cerebro de las cornejas negras es capaz de transmitir y copiar mediante el aprendizaje conductas de cooperación entre individuos, ¿es desacertado pensar que nuestro cerebro dispone de esa capacidad desde nuestra más temprana infancia? Tengo la impresión de que la respuesta es no. Si el poco sofisticado cerebro de una corneja negra puede aprender a ser altruista es lógico pensar que nuestro complejo y refinado cerebro debería poseer la cualificación necesaria para copiar este tipo de comportamientos desde que comienza a funcionar.

Teniendo en cuenta las ventajas que tendría el poder explicar el surgimiento del Altruismo a través de la vía de transmisión cultural y la predecible improbabilidad de que apareciese por vía de nuestros genes, intentaremos analizar ahora como este comportamiento puede aparecer y ser transmitido a través de los memes en otras especies. Primero que nada tendremos que explicarnos como es posible que una determinada información, por ejemplo, el conocimiento de que hacer determinada cosa es bueno para nosotros, pueda convertirse en un comportamiento capaz de obligar al individuo a cumplir con la tarea o con la función para la que ha sido creado y para ello comenzaremos por explicar el funcionamiento del sistema de respuestas (el cerebro).

¿Como pudiera un conocimiento transformarse en un comportamiento?

El sistema de respuestas, el cerebro

El cerebro es en esencia un sistema que se encarga de que el individuo interactúe con el medio en el que vive de manera que pueda cumplimentar una serie de requisitos sin los cuales no podría existir, alimentarse, huir de los peligros, beber, defenderse de las agresiones, buscar comida, conocer el entorno, calentarse o enfriarse, mantenerse en forma óptima, ganar y defender un territorio, encontrar pareja, reproducirse, cuidar la descendencia, etc. En otras palabras, el cerebro es un sistema de respuestas cada una de las cuales está preparada para cumplimentar alguna tarea inalienable a la vida. Las respuestas más importantes, los comportamientos innatos, se transmiten de generación en generación a través del genoma y predeciblemente actúan de forma relativamente independiente las unas de las otras. Pérez (2012). Otra característica importante de estos comportamientos es la de que para poder ejecutarse y hacer que el individuo cumpla con la tarea inalienable a la vida por la que se responsabilizan, necesitan acceder al control de

los programas motrices y para ello precisan de que el resto de los comportamientos se inhiban de manera de que ellos puedan tomar el mando del individuo mediante el control de los núcleos motores. Cada uno de estos comportamientos tiene la posibilidad de activar su sensación característica: la sed, el hambre, el deseo de copular, el miedo, el enfado, el frío, la curiosidad, etc con la intención de comunicar al resto de comportamientos que es preciso que se inhiban para que él pueda acceder al control del individuo de manera de conducirlo a cumplimentar con la tarea de la que se encarga. Pérez (2012). Cuando una de estas respuesta logra ejecutarse activa el mecanismo de recompensa y premia así al resto del individuo por haberle permitido cumplimentar con la tarea por la que se responsabiliza. Por el contrario, cuando no se le permite ejecutarse activa el mecanismo de castigo para provocar que el resto de respuestas le permitan en el futuro cumplimentar con su tarea particular. Es decir, los distintos comportamientos que integran un individuo probablemente se enfrentan los unos a los otros utilizando sus sensaciones particulares y el sistema de castigo y recompensa para "dialogar" entre ellos y decidir de forma consensuada quien se ejecuta y quienes se inhiben según la situación a la que se esté enfrentando el individuo. Pérez (2012). Cuando un comportamiento hace algo que perjudica o afecta la tarea a la que se dedica otro, aunque el primero de ellos activa el sistema de recompensas para premiarnos, el segundo activa el sistema de castigo para impedir que una acción de esta índole pueda ser repetida en el futuro. Pérez (2012). Este último argumento nos servirá más adelante para explicar por qué es posible que la instauración del comportamiento Altruismo en la inmensa mayoría de los casos no perjudique a su portador. Pero de esto hablaremos después.

Los comportamientos del sistema límbico precisan que la corteza cerebral construya una imagen del mundo real para poder saber con certeza cuando deben ejecutarse

El trastorno de la vista que se conoce como visión del ciego y experimentos realizados por Joseph Le Doux sobre la corteza auditiva de las ratas, además de fenómenos como la acromatopsia nos demuestran que el conjunto de comportamientos (sistema límbico) que es un mamífero, no es capaz de percibir de forma correcta lo que sucede alrededor del individuo al que pertenece. Carter (1998). Debido a esto la función de la corteza cerebral es la de transformar los impulsos eléctricos que vienen de los ojos, oídos, nariz, tacto y lengua en imágenes comprensibles para dichos comportamientos. Así que la corteza cerebral tiene la posibilidad de mostrar a los comportamientos innatos una versión bastante parecida al mundo real que

existe, tanto fuera como dentro del individuo. De la calidad de estas imágenes, de su capacidad para representar de forma certera lo que existe en el mundo real, depende en lo absoluto nuestra capacidad para interactuar con ese mundo de forma ventajosa para nosotros. Nuestros comportamientos innatos necesitan imágenes lo más genuinamente parecidas a lo que existe allá afuera para poder saber cuando es preciso que se activen para conducir al individuo a cumplimentar con la tarea por la que se responsabilizan.

Pero la posibilidad de confeccionar imágenes muy similares al mundo real solo es la primera de las grandes ventajas que ofrece la corteza cerebral, además de ello la sección prefrontal de la corteza cerebral nos permite elaborar conocimientos. No es suficiente que veamos un pájaro, lo más importante es que seamos capaces de saber si ese pájaro puede ser un peligro para nuestras crías o si ese pájaro puede servirnos para saciar el hambre. Y para que tengamos la posibilidad de huir de él o de darle caza, es necesario asociar al ave con determinado lugar en determinado momento para poder saber donde y cuando lo podemos encontrar, también necesitamos saber cuales son las técnicas que utiliza para atacar o para huir de manera de saber que tenemos que hacer en cada caso.

La construcción de conocimientos simples. La posibilidad de predecir el futuro inmediato

La corteza cerebral no solo elabora imágenes de la realidad objetiva sino que predeciblemente también dispone en su parte prefrontal de la facultad de enlazar parejas imágenes de manera causal, lo que es lo mismo que decir, parejas de imágenes que nos hacen saber como funciona el mundo en el que vivimos. Es muy célebre el experimento realizado por Menzel (1991) en el que pone un fruto de akebí al pie del árbol que lo produce, el macaco japonés, al percatarse de la presencia del fruto, como un acto reflejo mira hacia arriba aunque no era la temporada y el árbol, por supuesto, no tenía ningún fruto.

Ello nos indica que en la mente de este primate existía el conocimiento de que: siempre que hay



Fig. 4. Akebí. Si hay fruto debajo del árbol (imagen causa), necesariamente hay fruto arriba (imagen consecuencia).

frutos maduros al pie del árbol también hay frutos listos para comer en su copa. Este conocimiento probablemente existe mediante la unión de dos únicas imágenes, en primer lugar la imagen del fruto al pie del árbol (imagen causa) conectada a la imagen de la copa llena de frutos (imagen consecuencia). Veamos otro ejemplo. Las elefantas matriarcas guían a sus manadas en peligrosas travesías a través del desierto en busca de agua. Ellas tienen en sus cerebros el conocimiento que les permite encontrar el preciado líquido donde nosotros no somos capaces de descubrir ningún indicio. Al parecer tienen en sus cerebros la imagen de apenas perceptibles cambios en la coloración del terreno y en el olor de la arena (imagen causa) conectada a la imagen del agua fluyendo debajo de la tierra (imagen consecuencia). Este conocimiento causal sencillo es el que probablemente les permite encontrar agua en el medio del desierto. De esta manera existe una gran mayoría de los conocimientos que poseemos, pero, ¿cómo funcionaría este simple mecanismo cognitivo?

Veamos algunos ejemplos de la capacidad para predecir el futuro inmediato. Si ves un montón de hojas caídas que no están como deberían (imagen causa) no pases por allí porque podría haber una serpiente debajo escondida (imagen consecuencia). Si amenaza tormenta (imagen causa) corre a guarecerte porque se puede poner muy feo (imagen consecuencia). Si atraviesas hiervas altas en la sabana (imagen causa) presta mucha atención a tus oídos porque puede estar agazapado un león (imagen consecuencia). Si oscurece y no has subido al árbol (imagen causa) corre serios riesgos (imagen consecuencia). Si



Fig. 5. La inmensa mayoría de las personas que conducen tienen firmemente anclada en sus cerebros una implicación causal de cadena corta similar a esta. Calzada mojada (imagen causa), probable accidente (imagen consecuencia). Este conocimiento simple es el que nos hace sacar instantáneamente el pie del acelerador en cuanto vemos agua en la calzada.

encuentras una zona del desierto en la que la coloración de la arena es un poco más oscura que la normal (imagen causa) cava con la trompa que encontrarás agua (imagen consecuencia). Si vas a beber al río y no prestas atención a todo lo que hay en el agua (imagen causa) puedes terminar en la boca de un cocodrilo (imagen consecuencia). Si encuentras una rama con propiedades para repeler insectos restriégate con ella (imagen causa) que se alivia mucho la picazón de las pulgas, mosquitos y garrapatas (imagen consecuencia). Si estás en territorio rival y te alejas de los tuyos (imagen causa) puede ocasionarte un serio disgusto (imagen consecuencia). Si no avanzas escondido todo lo que puedas antes de lanzarte a toda carrera en pos del antílope (imagen causa) no lo alcanzarás (imagen consecuencia). Si el macho alfa tiene menos aliados que tu, rétales (imagen causa) que puede que consigas su puesto (imagen consecuencia). Si un aliado está mosca con tigo espúlgalo con esmero (imagen causa) que volverá a ser tu amigo (imagen consecuencia). Si compartes tu carne con una hembra en celo (imagen causa) quizás ella desee aparearse con tigo (imagen consecuencia). Si estrujas bien con la mano una hoja y la sumerges en el agua (imagen causa) podrás beber sin correr riesgos (imagen consecuencia). Si es la temporada de las lluvias debes encontrar hojas de superficie rugosa, plegarlas con sumo cuidado y tragarlas sin morderlas (imagen causa) que los parásitos y gusanos intestinales que te causan dolores de estómago y diarreas saldrán con las eses adheridos a los pequeñísimos ganchos que cubren toda la superficie de las hojas (imagen consecuencia). Si lanzas una cortina de burbujas los peces no la atravesarán (imagen causa) y los atraparás más fácil (imagen consecuencia). Tienes que arrancar del árbol y precipitar al suelo a los colobos rojos machos adultos (imagen causa) para poder cazar sus crías (imagen consecuencia). Si le hechas saliva a la ramita que introduces en el termitero (imagen causa) la sacarás cargada de ricas termitas (imagen consecuencia).

Este tipo de conocimiento integrado por dos únicas imágenes nos ofrece la posibilidad de conocer muy rápidamente un número infinito de cosas distintas que no guardan relación alguna entre ellas, lo que resulta de un valor incalculable para la selección natural ya que se evita tener que poner en el cerebro ingentes cantidades de información relacionada con lo que se va a encontrar el individuo en el medio en el que va a vivir.

Ahora, este maravilloso sistema cognitivo tiene un gran punto flaco y es que no nos permite entender, explicarnos, absolutamente nada. Solo nos deja predecir el futuro inmediato pero no nos da la posibilidad de entender el porque va a

sucedir algo o por que, si hacemos una cosa, obtendremos un determinado resultado.

El sistema que elabora implicaciones causales de cadena corta predicablemente es solo la mitad de nuestra capacidad para conocer, la otra mitad probablemente está compuesta por el sistema que elaboraría implicaciones causales de cadena larga, del que solo diremos en este artículo que su misión podría ser la de permitirnos entender el por que de las cosas, resultado de lo cual solo nos deja conocer un número muy reducido de asuntos, muy lentamente, pero eso sí, nos permite entender y explicarnos todo lo que haya que conocer acerca de algo.

¿Cómo podría funcionar en nuestra especie el sistema que elabora implicaciones causales de cadena corta?

Volviendo al experimento de M. Tomasello sobre el altruismo en los niños de año y medio, esté parece demostrar que estos ya disponían en sus cerebro el conocimiento de TM que les explica lo que está pasando por la mente del investigador ya que en una segunda parte de la investigación el científico tira al suelo con toda intención las pinzas de ropa y en este caso los niños, la inmensa mayoría de las veces, no las recogen. Lo que nos indica que disponían del conocimiento que les permitía diferenciar sin que se les ofreciese ninguna pista, entre alguien que necesitaba que le devolviesen la pinza y alguien que no lo necesitaba. ¿Cómo pudieron adquirir este importantísimo conocimiento de Teoría de la Mente?

Probablemente la función del propio conocimiento es quizás lo que nos revela su estructura y esta es quien nos indica como fue adquirido dicho conocimiento. En el experimento se constató que la reacción de los niños ocurría en unos 5 segundos. Tomasello y Warneken (2006). Lo que nos indica que el conocimiento de que es lo que debían hacer, según fuera el caso, estuvo disponible en la mente de los niños casi de forma instantánea. Así que estamos hablando de un mecanismo cognitivo capaz de desarrollar un conocimiento que se activa de manera instantánea y sobre todo, sin necesidad de que el individuo tenga que pensar en que es lo que debe hacer en el marco de cada situación. Por otra parte, dicho conocimiento es capaz de hacer correctamente su función sin necesidad de que los niños tengan que entender por que razones deben, según la ocasión, devolver o no la pinza al investigador (a tan temprana edad no son capaces de elaborar los razonamientos necesarios para entender esto). Ahora describamos como tendría que ser (estar estructurado) un conocimiento con arreglo a las características y peculiaridades que acabamos de describir.

La imagen de alguien que se le cae algo (imagen causa) debe estar unida a la imagen de

ese individuo recogiendo ese algo que se le ha caído (imagen consecuencia). Una implicación causal simple estructurada de esta guisa sería capaz de encenderse en la mente de forma instantánea y automática (por sistema de asas) sin necesidad de que el individuo tuviese que pensar para que ello sucediese. Veamos. Cuando el pequeño percibe que al investigador se le cae la pinza, por coincidencia de características entre la imagen que se está percibiendo y la imagen causa de esta implicación (la imagen de alguien que se le ha caído algo) se enciende en la mente esa primera imagen de la implicación causal (del conocimiento) y como esta primera imagen está conectada a la imagen consecuencia (el individuo intenta recuperar lo que se le ha caído) esta segunda imagen se enciende a continuación en la mente y le deja ver que es lo que va a suceder en el futuro inmediato, es decir, le permite al niño ver en su mente que el investigador va a intentar recoger la pinza de ropa antes de que esto suceda. Este, a su vez, es el conocimiento de Teoría de la Mente que le indica al infante que es lo que predeciblemente está pasando por la mente del investigador. Mi idea, como he mencionado, es que esta variedad simple de conocimiento, las implicaciones causales de cadena corta, pudiera ser consecuencia del funcionamiento de una estructura cognitiva de la corteza prefrontal que se encarga de unir dos imágenes entre las que existe un vínculo causal. Esta estructura cognitiva se encargaría de crear todos los conocimientos simples a los que nos hemos referido en este espacio, incluidos, los conocimientos relacionados con la TM. Y de la misma manera que es capaz de elaborar el conocimiento de TM que le indica al niño que es lo que está pasando por la mente del investigador, predeciblemente también podría ser capaz de elaborar a esa temprana edad el conocimiento de que es bueno ayudar a los demás (imagen causa) porque ello logra que los demás nos ayuden a nosotros (imagen consecuencia). Este es el conocimiento, como veremos más adelante, que podría ser la base de algunos de nuestros comportamientos solidarios y de cooperación.

De un conocimiento a un comportamiento

Ahora intentaremos explicar como un simple conocimiento puede servir para responder a un estímulo del medio de manera que aumente la eficacia biológica del individuo.

Los monos diana comparten con los chimpancés algunas zonas del bosque de Tai en Costa de Marfil, normalmente cuando descubren chimpancés, los diana permanecen en silencio (no emiten ninguna de sus características alarmas) ya que saben que los chimpancés son capaces de localizarlos a través del sonido y con bastante regularidad les dan caza, pero sin embargo, cuando escuchan a lo lejos la vocalización

(alarma) que emiten los chimpancés ante la presencia de leopardos ejecutan el comportamiento característico de trepar rápidamente hasta la copa del árbol, el mismo comportamiento que se activa ante la propia vocalización de alarma contra felinos. Gómez (2007). Este curioso caso de bilingüismo de los diana nos indica que cuando su cerebro construye la imagen sonora de la vocalización de alarma antifelinos emitida por un chimpancé, inmediatamente acude a su mente la imagen de un leopardo (imagen causa). Como probablemente dicha imagen está conectada a la imagen de un leopardo cazando y dando muerte a algún miembro de su comunidad (imagen consecuencia), esta última se enciende en su cerebro unas milésimas de segundo después de que lo ha hecho la primera. Es aquí cuando la amígdala puede ver lo que está sucediendo (percibe el peligro inminente) y activa la sensación de miedo por un lado y por el otro el programa motriz que hace que el individuo trepe como un poseso hasta la copa del árbol.

En resumen, podríamos decir que al estar conectadas entre sí las dos imágenes que integran el conocimiento, siempre que se perciba la imagen causa, inmediatamente se encenderá la imagen consecuencia y ello permite al individuo, como ya explicamos, predecir que es lo que va a suceder en el futuro inmediato (con relación al hecho, fenómeno o individuo que se está percibiendo) y como consecuencia de esta predicción se activará el comportamiento idóneo para solventar el asunto de forma provechosa. La facultad de predecir lo que sucederá en el futuro inmediato otorga al individuo (al conjunto de comportamientos que lo componen) la posibilidad de actuar antes de que suceda algo que podría beneficiarle o perjudicarlo de manera de poder evitar un posible peligro o situación desventajosa y de propiciar que suceda algo que podría favorecerle o de prepararse con tiempo para beneficiarse de algo que va a suceder. Ahora nos toca explicar como un conocimiento se convierte en comportamiento.

Un conocimiento se convierte en comportamiento

Para que un conocimiento pueda transformarse en un comportamiento debe cumplir tres requisitos indispensables. El primero de ellos es intrínseco a la esencia misma de los conocimientos, tiene que ser capaz de otorgar alguna ventaja al individuo. El segundo requisito que debe cumplir es el de ser capaz de activar al menos un programa motriz de manera de que el individuo realice un conjunto de acciones destinadas a poner en práctica el conocimiento. Y el tercer requisito que debe cumplir un conocimiento para transformarse en comportamiento es que debe ser capaz de activar un conjunto de sensaciones, sentimientos y emociones de manera de avisar de la necesidad

de que le permitan ejecutarse, de poder premiar al resto del individuo cuando lo logra o de poder castigarlo cuando le impiden ejecutarse. En otras palabras, un conocimiento debe ser capaz de activar emociones y sensaciones para poder actuar como un comportamiento.

Volvamos a los macacos japoneses de la isla de Koshima, pero ahora hablaremos particularmente de Imo. A finales de los 50 del siglo pasado un grupo de investigadores japoneses comenzó a estudiar los macacos de la isla de Koshima. Con el objeto de que los monos no rehuyesen su presencia comenzaron a darles comida, boniatos que dejaban enterrados en la tierra arenosa de manera que los monos tenían que desenterrarlos y sacudirles la tierra pormenorizadamente y durante bastante tiempo para poderlos comer. Desafortunadamente tenían que invertir bastante tiempo en sacudir y limpiar sus boniatos de manera de poderlos comer, circunstancia que de vez en cuando aprovechaban los machos de más rango para arrebatarse la comida ya limpia de las manos de los hambrientos y desesperados miembros de menor rango (las hembras y sus crías).

Un buen día Imo, una hembra de año y medio, quizás atenazada por el hambre y el miedo a que le arrebatasen su preciado alimento, sumergió su boniato en un pequeño riachuelo que desemboca en la playa y con un par de sacudidas que le dio con su otra mano logró que en solo un instante el tubérculo estuviese listo para comer. A partir de ese momento Imo repitió el mismo procedimiento cada vez que tubo un boniato sucio en sus manos y muy poco a poco el nuevo comportamiento fue extendiéndose a toda la población. Gómez (2007). ¿Qué pudo suceder en el cerebro de Imo para que adoptase este novedoso comportamiento? Quizás el nerviosismo provocado por la tensión de que le podían arrebatarse su alimento hizo que a Imo se le resbalase el boniato de las manos y cayese en el agua de donde lo recuperara después, o que deliberadamente lo escondiese de un macho sumergiéndolo en el agua. Una vez que lo tuvo de nuevo en sus manos fuera del líquido Imo pudo haber observado que la mayor parte de la suciedad había escapado de un plumazo. Si esto que acabamos de describir sucedió en el marco de un fuerte estado emocional provocado por el temor de perder el alimento, es del todo probable que estas imágenes se grabaran de forma indeleble, e instantáneamente en su memoria episódica. Además de ello en la corteza prefrontal, la imagen del boniato lleno de tierra sumergiéndose en el agua (imagen causa) pudo asociarse a la imagen del bonito casi limpio saliendo del agua (imagen consecuencia). Y así quedaría configurado el conocimiento que al encenderse en la mente de esta macaca le haría observar a sus comportamientos innatos, en especial a los de la amígdala y al comportamiento Nutrición, que es lo que se debía hacer para limpiar rápidamente su comida de manera de

poder comer el boniato evitando que un macho de mayor rango se lo arrebatase.

La construcción del procedimiento motor

Este grupo de macacos utilizaba un procedimiento de coger el tubérculo con una mano y sacudirlo con la otra, rotándolo con la mano que lo sujetaba de manera de ir limpiando toda la superficie. Imo había agregado a este procedimiento el conjunto de movimientos que empleaba para sumergir y luego sacar del agua el alimento. Una vez que todos los pasos del proceso de sumergir, sacudir y hacer emerger el boniato se asociaron por este orden en la corteza promotora da la macaca el comportamiento estuvo listo para ser usado. Este probablemente se activará de forma automática (a través del sistema de asas). La visión de un boniato enterrado (boniato sucio) es la información (estímulo señal) que activaría el comportamiento. Inmediatamente que el comportamiento se enciende, Imo ve en su mente la siguiente secuencia de imágenes: 1-boniato sucio sumergido en el agua (imagen causa) y 2-boniato que emerge del agua limpio (imagen consecuencia). Como esta pareja de imágenes (conocimiento) está conectada al procedimiento motriz (que sumerge en el agua el tubérculo mientras lo sacude) se activa este programa motriz en la corteza promotora y en teoría en este instante debería ejecutarse el comportamiento. Pero como mencionamos, para que un comportamiento sea ejecutado, como mínimo, tiene que ser capaz de hacer que experimentemos la necesidad de llevarlo a la práctica, tiene que ser capaz de activar sensaciones y emociones que indiquen al resto de comportamientos que deben inhibirse para que le permitan conducir al individuo a cumplir con la tarea por la que se responsabiliza. Pérez (2012). Así que este nuevo comportamiento precisaba ser capaz de activar sensaciones y emociones.

¿Como un comportamiento generado a partir de un conocimiento logra hacerse con el control de las emociones que necesita para hacerse oír en el ceno del parlamento formado por todo los comportamientos que integran al individuo y lograr que le permitan ejecutarse?

La posibilidad de acceder al control de las sensaciones y emociones

Es del todo probable que nuestro antiquísimo mecanismo de respuestas, con base en el sistema límbico, viene diseñado de manera que: el poder activar sensaciones y emociones es potestad en exclusivo de los comportamientos que se hayan allí. Damasio (2007). Así que necesariamente la selección natural estaría obligada a hacer un apaño que permitiese que de alguna manera los nuevos conocimientos que van adquiriendo los

individuos y que se van a transmitir de generación en generación a través del aprendizaje, pudiesen ser capaces de activar las sensaciones y emociones que necesitarían emplear para poder cumplir con sus tareas. ¿Por qué? Porque es mucho más sencillo, fácil, viable y económico elaborar y transmitir información, en este caso comportamientos, por vía cultural que por vía genética. ¿En que podría consistir el "apaño" que permitiría a un conocimiento llegar a poder activar emociones? Es posible predecir que un nuevo comportamiento (de origen cognitivo) tenga que asociarse a uno o a varios de los comportamientos del sistema límbico para que por intermedio de estos poder acceder a las emociones que necesita activar para poder ejecutarse. Veámoslo en el marco del caso que estamos tratando de explicar y ateniéndonos a los dos momentos que acabamos de describir en el espacio anterior.

Recordemos, el comportamiento Nutrición de Imo estaría muy implicado en todos los acontecimientos descritos ya que todos ellos giran alrededor de la posibilidad de comer un boniato, de igual manera está implicada la amígdala, quien se encarga de impedir que dejemos que nos arrebaten lo que es nuestro. Imo descubre el boniato enterrado (estímulo señal) y se activa el comportamiento nutrición que le provoca la imperiosa necesidad de comerse ese tubérculo. Un instante después percibe la presencia amenazante de un macho adulto buscando una cría con alimento para arrebatarlo. Esto hace que se active su amígdala quien genera una sensación de miedo destinada a que Imo trate de consumir lo antes posible el boniato de manera de que si se lo arrebatan, al menos haber comido un pedazo. Es aquí, en el marco de este poderosísimo estado emocional, cuando se dispara, atraída a la mente por el sistema de asas, la secuencia causal de imágenes (boniato sucio sumergido-boniato limpio que emerge del agua). Sabemos que mientras más fuerte es un estado emocional, (en este caso las sensaciones de hambre y de miedo) más rápidamente se solidifican las conexiones entre todos los circuitos neuronales implicados, ello provocaría que el conocimiento al que nos referimos quedase adscrito, tanto, al comportamiento nutrición como a la amígdala y dicha asociación es la que predeciblemente en un futuro le permitirá activar, a través de la vía neuronal establecida con estos dos comportamientos innatos, aquellas sensaciones y emociones que precisa para que le permitan ejecutarse. Nos referimos a que en el momento en el que Imo desenterrase un boniato (como es lógico sucio) y apareciese en su mente el conocimiento, boniato sumergido en el agua (imagen causa), boniato limpio (imagen consecuencia), inmediatamente se activaría gracias a la conexión descrita la sensación de



Fig. 6. Las hembras de rhesus viven en constante estrés debido a la hostilidad de los machos hacia ellas.

imperiosa necesidad de ir rápidamente al arrollo a lavar el boniato. Una vez que el conocimiento dispone de su correspondiente programa motor y de la capacidad para activar sensaciones y emociones se ha transformado en un comportamiento y está completo y listo para que el individuo cumpla una novedosa tarea para la que la selección natural le acababa de programar a través de los memes.

Otros ejemplos de la transformación de conocimientos en comportamientos

Los macacos rhesus se caracterizan por la gran agresividad con la que los machos tratan a las hembras, constantemente les están dando palizas por el menor de los motivos. En otras palabras, sus cortezas cerebrales han llegado al conocimiento de que es malo y perjudicial para ellos el que una hembra haga determinadas cosas así que cuando se detecta que alguna chica del grupo ha contravenido alguna parte del estricto código de conducta al que las someten sus amígdalas se disparan generándoles una poderosísima emoción de enfado que los impulsa a atacar a la hembra.

Por el contrario los macacos cola de cerdo machos parecen haber descubierto que se obtienen más cosas beneficiosas de las hembras si se las trata bien y como consecuencia han elaborado una serie de límites (con respecto a lo que puede hacer una hembra) mucho más laxos. El conocimiento al que nos referimos sería el siguiente: buen trato hacia una hembra, que puede ser espulgarla o cuidar de una de sus crías (imagen causa), más posibilidades tengo de aparearme con ella (imagen consecuencia). Este importantísimo nuevo conocimiento probablemente es lo que hace que sus amígdalas mediales

no se activen con tanta frecuencia produciéndoles ataques de furia que los impulsen a castigar a las hembras.

E.W. Menzel introdujo dos macacos rhesus machos en una comunidad de macacos cola de cerdo, quienes, como mencionamos, no son nada agresivos con las hembras. Durante los primeros momentos los recién llegados continuaron siendo muy hostiles con las chicas pero al cabo de unos meses dejaron de agredirlas y comenzaron a comportarse de forma pacífica como lo hacen los macacos cola de cerdo. La adopción de un nuevo patrón de comportamiento de los rhesus hacia las hembras quizás nos esté diciendo que su corteza cerebral fue capaz de aprender el conocimiento descubierto por los cola de cerdo: mejor trato a las hembras (imagen causa) más posibilidades tengo de aparearme con ellas (imagen consecuencia). Como el comportamiento Apareamiento y la amígdala están muy interesados en que crezcan las posibilidades de apareamiento, predeciblemente se asocian a este nuevo conocimiento prestándole su capacidad de generar emociones y sensaciones de manera que el conocimiento se transforme en comportamiento y con ello obtener mejores resultados a la hora de encontrar una hembra dispuesta a aparearse. Esto quiere decir que a partir de que el nuevo conocimiento se transforma en comportamiento, la amígdala de los macacos rhesus no les va a hacer experimentar ataques de enfado contra las hembras, todo lo contrario, va a provocarles el deseo y la necesidad de tratarlas bien.

Después de ver la película "12 años de esclavitud", con el corazón encogido y observando que la inmensa mayoría de los que salían del cine reflejaban en sus caras lo mismo que yo, me vino a la mente la siguiente pregunta. ¿Eran las personas que vivieron en la época de la esclavitud diferentes de nosotros? Es que hay que ser muy, muy inhumano para permitir que cosas así sucedan. Teniendo en cuenta el hecho de que es del todo descartable el pensar que en solo 200 años la configuración de nuestro cerebro haya variado, se me hace lógico concluir que la diferencia entre la forma en que ellos se comportaban ante la esclavitud y la forma en la que lo hacemos nosotros no puede ser consecuencia de un cambio en nuestros genes, así que necesariamente tiene que ser cultural.

¿Por que nuestra amígdala nos encoge el corazón cuando vemos esta película y sin embargo para las personas de hace solo 250 años, el que sucediesen cosas así, era lo más normal del mundo. ¿Por que sus amígdalas no valoraban estos hechos como actos profundamente reprochables? La respuesta es probablemente la misma que utilizamos para explicar el caso de la variación de comportamiento en los macacos rhesus. Nosotros no podemos actuar con otras personas como lo hacía la sociedad de entonces

con los esclavos porque nuestras amígdala no matarían a remordimiento y culpabilidad. Ello quiere decir que nuestra corteza prefrontal ha elaborado el conocimiento de que comportarnos con otra persona de la misma manera que lo hacían los esclavistas con los esclavos (imagen causa) provoca la repulsa social (imagen consecuencia) y también el conocimiento: ellos son tan humanos como tú (imagen causa) lo que le hagas a uno de ellos se lo estás haciendo a uno de los tuyos (imagen consecuencia). Nótese, por ejemplo, que la propaganda Nazi deshumanizaba a los judíos porque, aunque sin comprender entonces los procesos que ocurrían en el cerebro, sabían que para que el pueblo alemán aceptara la política de exterminio que emplearon contra los judíos tenían que convencerlo de que estos eran seres pertenecientes a un grupo enemigo del que había que defenderse. En realidad lo que estaban haciendo los jerarcas nazis era utilizar este nuevo conocimiento incesantemente repetido para reclutar a las amígdalas de todos los alemanes para su causa, logrando que estas hiciesen a sus portadores experimentar odio y repulsa hacia las personas de origen hebreo. Volviendo al tema de la esclavitud, el hecho de que nuestra actitud hacia la esclavitud haya cambiado, probablemente nos está diciendo que de alguna manera los nuevos conocimientos (acerca de cómo se debe tratar a las personas diferentes) han logrado asociarse a nuestra amígdala y a otros comportamientos de nuestro sistema límbico, porque de otra manera jamás habría cambiado nuestra forma de actuar con respecto a este problema social.

Esta circunstancia y el hecho de que nosotros seamos capaces de experimentar emociones complejas es lo que nos indica que la selección natural modificó el cerebro de manera que los nuevos conocimientos pudieran asociarse a los comportamientos innatos para que de esta manera pudiesen accionar las emociones y sensaciones que necesitan para poder ejecutarse como comportamientos.

El comportamiento Reciprocidad o Altruismo recíproco

El surgimiento de las bases de la estructura social Clan

Para que apareciesen conductas de cooperación entre individuos que compiten entre sí, lo primero que tendría que suceder es que apareciese un grupo de seres que no se considerasen entre ellos como enemigos, es decir, que apareciesen las bases de la estructura social Clan. ¿Cómo pudo haber aparecido un grupo de individuos que no se considerasen los unos a los otros como enemigos? En el volumen 9(1), 2014, de esta misma publicación aparece un artículo de este mismo autor en el que se explica que la amígdala

lateral predeciblemente surge para permitir que pudieran convivir durante un largo período de tiempo madre e hijo, ello es lo que haría posible la existencia de los individuos con corteza cerebral. La amígdala lateral está relacionada con las emociones de afecto y solidaridad y nos hace sentir bien, seguros y confiados cuando estamos al lado de nuestro pariente. Pérez (2014).

También en este artículo analizamos como, en un momento posterior, desaparece la caducidad del vínculo entre la imagen del hijo y la amígdala lateral de la madre y ello, en teoría, es lo que provocaría que las madres dejaran de expulsar a sus hijos de su territorio, circunstancia que crea el caldo de cultivo necesario para la existencia de una nueva forma de organización de la vida, el Clan, ya que hace posible que coexistan en el mismo territorio varias generaciones de individuos capaces de experimentar, como a continuación veremos, sentimientos de afecto, bienestar, satisfacción, seguridad y confianza en el marco de las relaciones de los unos con los otros. Pérez (2014). Ahora nos toca intentar explicar con suma nitidez, el por qué es posible que algunos individuos experimenten poderosísimas sensaciones de afecto, familiaridad, gratitud, solidaridad y cariño hacia otros sujetos no emparentados con ellos. ¿Cuales serían los mecanismos neurológicos que hace que un ser sienta que otro es su amigo y aliado? El razonamiento estará basado en el funcionamiento del comportamiento Instinto Filial, del cual ya hablamos en el artículo anterior.

Relación entre el Instinto filial y la Amistad

La selección natural no solo necesita que madre e hijo dejen de verse como enemigos para que puedan convivir juntos sino que también precisa que el hijo sienta necesidad de estar pegado a la madre como una lapa. ¿Cómo podría lograrlo? Es lógico pensar que el comportamiento Instinto Filial tiene como tarea la de lograr que la cría sienta necesidad de estar al lado del ser que le alimenta, le cuida, le limpia, y le protege, pero en un inicio el IF de una cría no cuenta con una foto que le indique quien es la madre. Recordemos, los individuos con corteza cerebral solo comenzamos a ser capaces de construir las imágenes (visuales, odoríficas, etc) del mundo real una vez que las cosas, individuos o fenómenos que las generan logran estimular nuestros receptores sensoriales. Así que el comportamiento Instinto Filial solo podría disponer (por vía de transmisión genética) de información relativa a los comportamientos que desarrollará la madre para con el sujeto (el hijo). La ejecución de los mismos por parte de la madre, predeciblemente, pudieran ser el estímulo señal que va a provocar la activación del comportamiento Instinto Filial del hijo, al mismo

tiempo que le indica, quien es el sujeto (la madre) sobre el que tiene que ejercer su acción. Así que cada vez que un individuo (en este caso la progenitora), alimenta, guía, protege, arrulla, cuida, defiende a una cría o simplemente la acompaña el propio comportamiento IF de esta última le hará experimentar poderosísimas sensaciones de afecto, cariño, confianza, seguridad, apego y adhesión total hacia el ser que le ha beneficiado (la madre). Estas sensaciones, unido al sentimiento de desolación, de desamparo, y de miedo que el comportamiento IF genera cuando el bebe se aleja de la madre pudieran ser las sensaciones que hacen que el hijo necesite estar al lado del ser que le cuida, protege y alimenta, podrían ser las emociones que crean en el descendiente la necesidad de estar al lado de sus madres.

Por otra parte, previsiblemente en algunos casos el comportamiento Instinto Filial del hijo podría continuar activo con relación a la madre, como explicamos, a partir del momento en el que deja de separarse la imagen del hijo de la amígdala lateral de la progenitora. Pérez (2014). El hecho de que este comportamiento (IF) permanezca activo durante toda la vida del individuo y la circunstancia de que se dispare para con alguien, cuando este otro sujeto ayuda, cuida, protege, alimenta a su portador, nos indican que el comportamiento Instinto Filial podría ser el responsable de que experimentásemos sensaciones y emociones de afecto, cariño, fraternidad, confianza, gratitud y seguridad para con quien dedica parte de su tiempo a desparasitarnos, para con quien nos abraza en un momento de tristeza, para con quien comparte parte de su alimento con nosotros, para con quien nos reconforta en un momento de desesperación, para con quien ve bien nuestros planes y para con quien se enfrenta a nuestro lado contra un rival que nos perjudica. Y esta podría ser la causa última por la que nuestra amígdala lateral (IF) coloca a los individuos empáticos en el pedestal de amigos y aliados, haciéndonos experimentar hacia ellos poderosas sensaciones de afecto, confianza, seguridad y cariño (Pérez 2014).

En otras palabras, sugerimos que es posible que el comportamiento Instinto Filial, del mismo modo que identifica a nuestra madre como el sujeto sobre el que él tiene que ejercer su actuación cuando esta nos cuida, alimenta, reconforta, apoya, ayuda y protege. Podría, quizás, también activarse para con cualquier otro individuo que desarrolle este mismo tipo de conductas para con nosotros. De manera que nos haría experimentar hacia estos sujetos, no necesariamente emparentados con nosotros, sensaciones, emociones y sentimientos muy similares de las que experimentamos para con nuestros padres. En este caso el cúmulo de sensaciones de solidaridad, cariño, confianza,

gratitud, seguridad y afecto que el comportamiento Instinto Filial nos haría experimentar para con seres no emparentados con nosotros pudiera ser la esencia de ese curioso fenómeno que identificamos con la palabra Amistad. Es decir, cuando alguien con el que no estamos emparentados desarrolla para con nosotros conductas de cooperación, protección, ayuda y cuidados, predeciblemente nuestra amígdala lateral interpreta que este individuo es nuestro progenitor y nos hace experimentar hacia él un cúmulo de sentimientos y sensaciones muy similares a los que sentimos con relación a nuestros padres. Y solo el simple hecho de que sabemos que no estamos emparentados con este sujeto es lo que nos ha llevado a definir con un nuevo nombre esta relación a la cual hemos denominado Amistad.

La posibilidad de que alguien sienta que otro ser con el que no está emparentado es su amigo, es su aliado, es alguien al que debe ayudar, cuidar y proteger es, como mencionamos, el caldo de cultivo sobre el que se erigiría la estructura social Clan. Seguidamente intentaremos averiguar de que manera aparecieron los comportamientos destinados a convertir a los otros sujetos del grupo en amigos y aliados. Los comportamientos que permitirían la existencia misma de la estructura social Clan.

El grupo de conocimientos que pudieron devenir en el comportamiento Reciprocidad

El comportamiento reciprocidad que se ha podido observar en primates como los chimpancés y los bonobos pudiera tener como su primer fundamento un conocimiento en forma de implicación causal simple compuesta por dos únicas imágenes: 1-la imagen propia dando una parte de lo que se tiene a otro individuo (imagen causa) 2-unida a la imagen de ese otro individuo dándonos algo a nosotros cuando estamos pasando hambre. ¿Por qué creemos esto? Por ejemplo, para poder darle un trozo del alimento que tanto nos ha costado conseguir (y que hace tanto tiempo no teníamos la posibilidad de comer) a otro individuo es preciso vencer la férrea oposición del comportamiento Nutrición y de nuestra amígdala medial, quienes velan por porque todo lo que esté al alcance de nuestra vista, en especial la comida, sea para nosotros y para nadie más. De hecho, todo parece indicar que los chimpancés no se sienten en extremo felices cuando dan un poco de carne a sus compañeros. La única manera de lograr esto es mostrando a nuestros comportamientos innatos la secuencia de imágenes descrita. Este conocimiento tendría la posibilidad de aplacar a nuestro comportamiento Nutrición y a nuestra amígdala lateral porque cuando esta secuencia de imágenes se enciende en la mente del individuo, este grupo de importantísimos comportamientos

puede observar que el dar parte de la comida al otro (imagen causa) es un medio de obtener comida cuando estemos pasando hambre (imagen consecuencia). Los chimpancés comparten su comida preferentemente con los que comparten con ellos. Call. Una muestra de la tremenda oposición que ponen nuestra amígdala y nuestro programa Nutrición a que demos nuestra comida a otros es la gran sensación de furia que nos imponen cuando ese otro no cumple su parte del trato, además de la devastadora sensación de humillación, vergüenza y frustración que se activa en nosotros por haber dejado que nos timen. El objetivo de estas poderosísimas sensaciones y emociones es el que borremos de inmediato la imagen de este individuo del marco del comportamiento Reciprocidad y de la categoría de amigo y aliado para que no pueda volver aprovecharse nunca jamás de nosotros. Para decirlo más claro, jamás le daríamos comida o prestaríamos ayuda a otro individuo a menos que al hacerlo experimentemos una sensación de moderada aprobación.

Los modelos funcionales de cooperación entre individuos se basan precisamente en esto, en la continua interacción de los sujetos y en el recuerdo de las acciones anteriores. Toro (2012). Así que cuando alguien nos pide comida o ayuda, primero tiene que encenderse en nuestra mente la



Fig. 7. El comportamiento Reciprocidad tiene que vencer la hercúlea oposición de importantísimos comportamientos que se niegan terminantemente a que demos comida a los otros.

secuencia de implicaciones causales descrita para que los comportamientos innatos que velan por nuestro bienestar vean que lo que estamos haciendo en el presente (imagen causa) nos permitirá obtener comida en el futuro (imagen consecuencia), cuando realmente la necesitemos. Seguidamente, la amígdala y el comportamiento nutrición tienen que haberse asociado a este

conocimiento de forma que cuando se genere en la mente la posibilidad de obtener comida en el futuro, no sintamos oposición, si no aprobación y moderada satisfacción al ayudar a quien lo pide. Y por último debe activarse desde la corteza premotora el programa motriz que nos permitirá ceder la comida o brindar la ayuda al otro individuo.

Resumiendo, solo cuando el conocimiento descrito es capaz de asociarse a estos poderosos comportamientos innatos adquiere la posibilidad de activar las emociones que precisa para obligar y motivar al individuo para que de parte de su comida en espera de un pago recíproco por parte del beneficiado. Y cuando ello sucede podemos afirmar que el conocimiento que nos deja ver que es bueno colaborar con los otros ha adquirido el rango y las prerrogativas de un comportamiento. El comportamiento Reciprocidad.

Valoración de costes y beneficios

Quiero hacer notar que probablemente la participación de los comportamientos innatos con relación al buen desempeño del nuevo comportamiento (Reciprocidad) no se circunscribe al préstamo de las emociones que le permitirían ejecutarse, sino que también es muy posible que se encarguen de evaluar y valorar costes y beneficios en cada transacción de forma minuciosa. Por ejemplo, no es lo mismo dar un pedazo de fruta cuando se ha comido ayer y se sabe que mañana o ese mismo día por la tarde te van a poner otra ración, que dar un pedazo de fruta a otro cuando hace dos días que no comes y no sabes cuando volverás a encontrar algo que echarte a la boca. En ambas situaciones el coste del acto de altruismo recíproco es muy diferente. Ello predicablemente es la razón por la que no experimentamos mucha oposición (por parte de nuestra amígdala lateral y de nuestro comportamiento Nutrición) en el marco de la primera situación y sentimos una férrea oposición en el segundo caso. Así que es posible que en el marco del primer caso nuestros comportamientos innatos nos permitan dar parte de la comida a alguien con quien no hemos practicado el altruismo recíproco nunca. Pero en la segunda situación, solo mostrándole a la amígdala imágenes, procedentes de nuestra memoria episódica, en la que esta pueda observar al individuo que nos pide la comida dándonos alimentos o ayudándonos en el marco de una situación muy difícil para nosotros, la amígdala aceptará que le demos parte de lo poquito que tenemos para comer. Es decir, los comportamientos innatos asociados a los nuevos comportamientos (en este caso la Reciprocidad) predicablemente se encargan de tutelar su actuación de manera de que nunca haya pérdidas significativas para nosotros. Ejemplo de ello es las coaliciones que forman dos machos papiones,

quienes se prestan ayuda mutua cada vez que uno de los dos tiene que enfrentarse al macho dominante con el objetivo de acceder a una hembra. También en chimpancés, papiones, macacos y monos verdes se ha observado que los individuos dedican más tiempo a desparasitar a quienes más tiempo han invertido en desparasitarlos a ellos. Los chimpancés son más propensos a compartir sus alimentos con quienes les acicalan. Toro. (2012). Los delfines forman grandes coaliciones para enfrentarse a otras coaliciones con el objetivo de controlar las hembras.

De donde pudo salir el conocimiento que se convertiría en el comportamiento Reciprocidad

Ahora nos toca intentar averiguar, ¿cómo pudo haber surgido el conocimiento a partir del cual se forma el comportamiento Reciprocidad? ¿De donde pudo haber venido el conocimiento que hace que un individuo le de o ayude a otro en espera de recibir igual pago en el futuro? Si tenemos en cuenta las reglas que rigen la selección natural nos damos cuenta de que es realmente muy difícil que pudiera haber aparecido el comportamiento Reciprocidad porque para que un individuo pudiese confiar en que otro le daría comida o le prestaría ayuda en un momento posterior, primero tenía que existir en su mente el conocimiento de que algo así podría suceder. Y en un mundo regido por la competencia despiadada, en el que todos son enemigos y competidores de todos, es casi imposible que apareciese un ejemplo de cooperación que pudiese ser tomado como conocimiento de partida, nos referimos al conocimiento de que es posible confiar en que el otro te devolverá el favor. ¿Cómo pudo aparecer la información que sirviese de ejemplo para que los individuos pudiesen grabar en sus mentes que era posible dar a otro (imagen causa) en espera de que ese otro te devuelva el favor cuando tu lo necesites (imagen consecuencia)?

Deja de separarse la imagen del descendiente adulto del comportamiento Instinto Maternal

Ya explicamos que la amígdala lateral pudo haber aparecido para hacer posible la aparición de los individuos con corteza cerebral. Y también analizamos que la selección natural pudo aprovechar esta cualidad de la amígdala lateral, la de generar sentimientos de afecto, solidaridad, seguridad y bienestar entre los individuos no emparentados, para formar las bases de la estructura social Clan. Pero la amígdala lateral no es la única estructura que integra nuestro comportamiento Instinto Maternal, sino que hay otras como el núcleo del accumbens y el núcleo preóptico medio, que sepamos, que podrían encargarse de otras funciones, las más

importantes de ellas hacen que la madre cuide, proteja y alimente al descendiente. Para lograr esto dichas estructuras emplean emociones poderosísimas. La principal de las emociones que se encarga de hacer que la madre haga todo esto para con su hijo es la Compasión, esta obliga a la madre a hacer lo que sea necesario por el ser desvalido a su cargo, mientras más desvalido es este ser, con más fuerza la emoción Compasión atenaza a la madre.

Aunque en muchas especies, por ejemplo de monos, los hijos adultos continúan compartiendo el territorio de sus madres, estas se desentienden por completo del resto de las tareas que desarrolla el comportamiento Instinto Maternal para con estos, lo que podría estar sugiriéndonos que la imagen del hijo adulto se desconecta de los núcleos neuronales que se encargan de estas tareas. Pero en algunas especies de mamíferos como elefantes, suricatos, leones, delfines, chimpancés, lobos sucede algo inesperado, al parecer se produce otro cambio en el desarrollo ontogénico del comportamiento Instinto Maternal, el proceso que debe desconectar la imagen del descendiente adulto (en algunas especie solo sucede con las hembras y en otras deja de ejecutarse para ambos sexos) del resto de los núcleos neuronales que componen este comportamiento (IM) de la progenitora, al parecer no se produce y como consecuencia de ello las madres siguen considerando y tratando como hijos a sus descendientes durante toda la vida. En chimpancés, bonobos y en nuestra especie lo que sucede es exactamente esto mismo para ambos sexos, en el cerebro de la madre no se produce el proceso de desconexión entre los núcleos neuronales relacionado con el comportamiento IM y la imagen del hijo adolescente. Ello probablemente es la razón por la que la inmensa mayoría de las madres durante todas sus vidas siguen necesitando proteger, cuidar, ayudar y defender a sus hijos, es decir, siguen experimentando compasión para con sus hijos. Por su parte este proceso predeciblemente también tiene una gran repercusión en el cerebro de los hijos ya que la imagen de la madre no se separa jamás de su comportamiento Instinto Filial, lo que quiere decir que seguirán experimentando sentimientos de cariño, gratitud, seguridad, afecto y solidaridad hacia estas durante todas sus vidas. Recordemos, estos, predeciblemente, son los sentimientos que desarrolla la selección natural con el objetivo de que los hijos sientan necesidad de estar siempre al lado del ser que los cuida, alimenta y protege.

Por ejemplo en chimpancés y bonobos las chicas durante su adolescencia permanecen al lado de sus madres ayudándolas a criar a sus hermanos menores. También los hijos jóvenes, aunque se alejan de sus madres, saben que cuentan con que estas vayan a defenderlos si están metidos en un aprieto. Del mismo modo



Fig. 8. En algunas especies el proceso de separación entre el hijo adolescente y su madre no se produce, ello da origen a la familia extendida, la base social sobre la que probablemente se erige la superestructura Clan.

ellos acuden en defensa de sus madres cuando son estas quien lo necesitan. En los casos en los que la madre muere, los pequeños (no lactantes) suelen ser adoptados por alguno de sus hermanos mayores, que son quienes se van a encargar de alimentarle, cuidarle y protegerle (Goodall 1986). Ello es algo que probablemente sucede como consecuencia de que el comportamiento Instinto Maternal del hermano se activa para adoptar al pequeño huérfano.

Las relaciones entre individuos emparentados pudieron originar el conocimiento que se convertiría en el comportamiento Reciprocidad

Los individuos que transmiten la nueva modificación (mantienen la imagen de sus descendientes anexa a todos los núcleos neuronales relacionados con el comportamiento IM durante toda sus vidas) desarrollan actos de ayuda mutua, cuidados, solidaridad y cooperación y protección con los seres directamente emparentados con ellos y estos actos a su vez son devueltos por estos otros individuos. ¿Por qué podría suceder esto?

Ya sabemos que los comportamientos que utilizan la emoción Compasión siguen controlando el modo de proceder de las madres para con sus hijos, ahora adultos, ello es la razón por la que cuando un hijo está en apuros la madre necesita correr en su ayuda. Por la otra parte los hijos cuentan con el comportamiento IF quien utiliza emociones como el afecto, la solidaridad, el cariño, la seguridad cuando se está con el individuo que les cuida, alimenta, ayuda y protege. Estas emociones son las que obligan y motivarían a los hijos a cooperar, a ayudar y a

defender a sus madres. La actuación de este conjunto de poderosísimas emociones es lo que previsiblemente genera los comportamientos de protección, cuidado, ayuda mutua entre madres e hijos adultos, comportamientos que suceden constantemente ante los ojos de todos los otros miembros del grupo no emparentados entre sí. De manera que las cortezas prefrontales de los individuos con más inteligencia social pudieron, a partir de estos ejemplos, elaborar el conocimiento que pudiera ser la base de la Reciprocidad y de los actos de cooperación entre los individuos no emparentados. Nos referimos al conocimiento: te ayudo ahora que tu lo necesitas (imagen causa) para que tu me ayudes después cuando yo lo necesite (imagen consecuencia).

Viabilidad de este conocimiento

¿Por qué algo tan simple pudo haber funcionado, por qué un conocimiento tan elemental y sencillo pudo haber tenido éxito a la hora de implantarse y transmitirse como comportamiento en el marco de toda una comunidad? Porque cuando alguien se ocupa de nosotros, nos desparasita, nos desestresa con un abrazo, comparte un pedazo de su comida o nos ayuda a enfrentarnos a un rival, nuestro comportamiento Instinto Filial probablemente lo toma como un sustituto del progenitor y nos hace sentir hacia ese individuo afecto, cariño, gratitud, solidaridad y confianza (Amistad). Lo mismo que probablemente sucede cuando es un hermano mayor quien se ocupa de la crianza del hermano pequeño en el caso de que la madre muere. Es decir, los actos de ayuda y cooperación recíproca entre sujetos no emparentados probablemente se generalizarían con rapidez en el marco de una población porque cuando alguien desarrolla este tipo de comportamiento para con otro ser la amígdala lateral de este último lo convierte en un amigo, haciéndole sentir hacia el benefactor el conjunto de emociones y sensaciones que denominamos amistad. Ello quiere decir que el comportamiento Instinto Filial se encargará de que nos sintamos bien y a gusto cuando ayudamos, cuidamos, protegemos y compartimos con este sujeto que se ocupa de nosotros y de que nos sintamos muy mal cuando no le paguemos con la misma moneda.

En mi opinión el conocimiento: yo te ayudo ahora que tu lo necesitas (imagen causa) para que luego tu me ayudes cuando yo lo necesito (imagen consecuencia) no tendría muchas dificultades para convertirse en un comportamiento empleado por toda una comunidad debido a que pudo haber contado con la fuerza y la potencia de las emociones y sensaciones relativas al comportamiento Instinto Filial (amígdala lateral).

Ahora nos toca dilucidar otro importantísimo dilema y es el tratar de esclarecer las razones por

las que alguien comenzaría a desarrollar actos de cooperación para con otros individuos no emparentado con él.

¿Cómo y por qué comenzaría a utilizarse el comportamiento Reciprocidad?

A la vista de todos los miembros del grupo están las relaciones de cooperación, ayuda y cuidados que se producen entre individuos emparentados. Y por consiguiente, también a la vista están los sentimientos de adhesión, afecto, gratitud, solidaridad y amistad que provocan estos actos de cooperación en quienes los reciben para con quienes los ofrecen. Esta circunstancia es la que hace posible que algún individuo con gran inteligencia social elaborase un segundo importantísimo conocimiento, un conocimiento que va a estar relacionado con las causas y motivos por los que alguien decidiría comenzar a ejecutar actos de cooperación para con sujetos no emparentados con él: la forma en la que nos comportemos con un individuo (imagen causa) determina casi siempre la forma en la que ese individuo se comporta para con nosotros (imagen consecuencia). Así que si quieres que alguien te cuide, te ayude, se ocupe de ti, coopere contigo y te proteja (imagen causa) es preciso actuar de la misma manera para con este individuo (imagen consecuencia).

Igualmente las relaciones de cooperación entre individuos emparentados permitirían a este tipo con gran inteligencia social extraer un trascendental tercer conocimiento, también relacionado con los motivos por los que alguien decidiría comenzar a emplear conductas de cooperación para con individuos con los que no está emparentado: se puede lograr mucho de alguien (imagen consecuencia) ofreciéndole muy poco a cambio, siempre y cuando ese poco sea exactamente aquello que el otro necesita, cuando lo que se da se ofrece en el instante preciso en el que ese otro ser lo necesita y en la cantidad justa en la que ese otro tipo lo necesita (imagen causa). Este genial conocimiento le permitirá saber a su poseedor que es posible obtener un máximo de beneficios (imagen consecuencia) con un mínimo de gastos (imagen causa).

Dediquemos un instante a explicar minuciosamente el origen de este importantísimo tercer conocimiento.

¿Por qué el que seamos capaces de saber: qué es lo que alguien necesita, cuándo lo necesita y en qué proporción lo necesita es tan, tan tremendamente importante en función de poder sacar de un sujeto mucho más de lo que le daremos para convertirlo en nuestro amigo y aliado? Todo parece indicar que el comportamiento Instinto Filial no valora de la misma forma todo lo que alguien hace por nosotros. Y de que demos un gran valor a lo que nos dan o a lo que hacen por nosotros, depende

directamente el grado de amistad, gratitud, afecto y solidaridad que sentiremos hacia nuestro benefactor. Ilustrémoslo.

Pensemos en el único niño de una gran familia que recibe constantemente regalos, juguetes y atenciones de padres, abuelos y de numerosos tíos. En este caso se produce un proceso de acostumbamiento en el sistema de recompensa (similar al que se genera con el uso continuado de sustancias alucinógenas) y el niño termina por no sentir ninguna felicidad ni bienestar aunque nos gastemos una fortuna en el regalo. Muchísimos de estos niños que se les trata como a reyes no desarrollan sentimientos de amor, ni de solidaridad, ni de gratitud hacia sus benefactores. Tanto es así que en bastantes casos se convierten en adolescentes tiranos que maltratan a sus padres. Veamos el caso contrario. Por ejemplo un niño que ha pasado toda su vida en un campamento de refugiados recibe una simple lata de conservas vacía a la que puede dar patadas o un simple caramelo, como lo más maravilloso del mundo. Desarrollando como consecuencia poderosísimos sentimientos de afecto, amistad y solidaridad hacia su benefactor. Estos hechos quizás nos estén ilustrando la tremenda importancia que tiene el dar exactamente lo que alguien necesita, cuando lo necesita y en la justa proporción que lo necesita, a la hora de desarrollar en ese sujeto grandes y poderosos sentimientos de gratitud, amistad, cariño, afecto y solidaridad hacia quien ofrece estos cuidados.

Veamos ahora otra vez, a la luz de lo que acabamos de explicar, el tercer conocimiento que pudieron elaborar los individuos con más inteligencia social. Si se quiere obtener el máximo de sentimientos de amistad, afecto, solidaridad de alguien hacia uno (imagen consecuencia) es preciso lograr que lo que le damos o aquello que hacemos por él le provoque el máximo de satisfacción (imagen causa). Y para lograr ese máximo de satisfacción (imagen consecuencia) es necesario darle justamente lo que ese individuo necesita, cuando exactamente lo necesita y en la proporción justa en la que lo necesita (imagen causa).

Estos dos conocimientos le dejarían elaborar a un individuo muy inteligente desde el punto de vista social un cuarto conocimiento que va a ser el conocimiento clave para el inicio de la implementación de los actos de cooperación entre los individuos no emparentados entre sí. El conocimiento que provocaría en un individuo con gran inteligencia social la necesidad de cooperar y ayudar a seres no emparentados con él. Este importantísimo conocimiento es: se pueden obtener pingües beneficios en el marco de la relación con otros sujetos (imagen causa) si somos capaces de dar a esos sujetos aquello que precisan, cuando lo precisan y en la cantidad justa que lo precisan (imagen consecuencia). Es decir, se puede obtener mucho de alguien (imagen

consecuencia) a cambio de darle muy poco siempre y cuando lo que le demos sea lo que necesita, en el momento que lo precisa y en la cantidad justa que lo necesita (imagen causa).

¿Por qué estos tres últimos conocimientos provocarían el comienzo de la proliferación de conductas de cooperación entre individuos no emparentados?

El descubrimiento de que se puede obtener mucho de alguien (imagen consecuencia) a cambio de darle muy poco, a la vista de los comportamientos del sistema límbico de los genios de la empatía, dejaría ver con nitidez meridiana que había una nueva vía por la que era posible apoderarse de cosas necesarias y acceder a servicios indispensables para la vida. Los seres con gran inteligencia emocional podrían observar con suma claridad que existía una nueva manera a través de la cual se podía lograr que alguien nos diera parte de su comida, que dedicara tiempo a cuidarles y a desparasitarles, que les ayudara a la hora de enfrentarse a los enemigos. Y lo importante, lo bueno, lo maravilloso de esta nueva forma de obtener cosas y servicios era que no había que luchar contra ese otro individuo, que no tenían que amenazarlo para lograr que les diera o para que hiciera todo lo que necesitaban y sobre todo, que no había que arriesgar la vida en lo más mínimo para lograr todo esto. Y ello debido a que esta nueva manera de obtener cosas de los otros provocaba en esos, sus competidores, la necesidad de ser solidarios, la necesidad de ayudar y la necesidad de compartir con quienes desarrollan conductas de ayuda y cooperación para con ellos, con los genios de la empatía.

Veamos ahora solo un ejemplo de la gran ventaja que representa esta nueva vía de obtener cosas y servicios. Ya mencionamos el hecho de que los chimpancés son mucho menos reacios a compartir un trozo de mono con aquellos (los empáticos) que han dedicado más tiempo a acicalarles. Toro (2012). Pensemos, algo como el acicalado, que requiere de un exiguo gasto energético ofrece a quien lo propensa la posibilidad de obtener a cambio un trozo de carne, un preciado bien que reporta un aporte energético de gran magnitud. Esto es una imagen fehaciente de lo increíblemente ventajosa que era esta nueva vía para obtener cosas y servicios.

Por descontado está que los comportamientos innatos de los sujetos con gran inteligencia social, esos comportamientos que nos hacen egoístas, elegirían siempre que fuera posible esta nueva forma de obtener recursos y servicios ya que ella proporcionaba grandes beneficios, con mínimos costes y con mínimos riesgos, debido a que quienes proporcionarían esos recursos y servicios no pondrían ninguna oposición para ofrecerlos, todo lo contrario, se sentirán bien y felices de ayudar y beneficiar al individuo empático. Este es

quizás el verdadero motivo por el que los sujetos con más inteligencia social comenzarían a desarrollar actos de cooperación para con individuos no emparentados con ellos.

Resumiendo. Todo parece indicar que los individuos con más inteligencia social descubrieron que era posible incrementar los sentimientos de amistad, afecto, solidaridad, seguridad, gratitud y bienestar que los otros les profesan (sentimientos predeciblemente relacionados con el comportamiento Instinto Filial) y en consecuencia desarrollarían comportamientos de cooperación y cuidados hacia los demás con el propósito de acrecentar dichas sensaciones y sentimientos porque, lograr convertir a otros miembros del grupo en amigos y aliados les reportaría muchas, muchísimas ventajas. A su vez, esta maravillosa habilidad para manipular las mentes de los otros también les permitiría convertirse en los árbitros de los conflictos entre sus parientes y así minimizar los desacuerdos, las desavenencias y entretener una y otra vez los sofisticados hilos que cohesionan una comunidad, los hilos que hacen posible que un grupo de individuos trabajen unidos en pos de metas comunes. Todo ello siempre con la mirada puesta en un único y elemental objetivo: como lograr recibir cada vez más para ellos dando a los otros cada vez mucho menos. Pérez (2014). Este quizás pudo ser el origen primigenio del mundo desigual en el que vivimos, de un lado los genios de la inteligencia social (por ejemplo los políticos) manipulando las mentes de una gran parte de la población, las mentes de quienes seguimos creyendo y confiando en su buena voluntad y en el amor y la dedicación a nosotros que dicen profesar. Cuando en realidad su único y genuino interés ha sido, desde los inicios de la construcción de la sociedad, el Clan, el aprovecharse de los demás en su propio beneficio. Así que con toda probabilidad las conductas de cooperación entre individuos no emparentados no aparecieron porque se desarrolló en el cerebro un mecanismo que nos hacía buenos y solidarios sino por la razón contraria. Porque los individuos con gran inteligencia social descubrieron que desempeñar este tipo de acciones podía reportar grandes beneficios para quienes las ejercen.

Hasta aquí el análisis de, como estos importantísimo conocimientos pudieron convertirse en el comportamiento Reciprocidad. Lo que nos toca investigar ahora es: si es posible que el comportamiento Reciprocidad (Altruismo Recíproco) puede transformarse en nuestro comportamiento Altruismo verdadero, el que nos hace experimentar la necesidad de dar a los otros sin esperar nada a cambio.

El comportamiento Altruismo

¿Se puede convertir el comportamiento Reciprocidad en el comportamiento Altruismo?

Ya hemos visto que los conocimientos se pueden convertir en comportamientos y que el altruismo predeciblemente no se transmite a través de los genes. ¿Es posible que el comportamiento de Reciprocidad se convirtiese en algún momento en Altruismo, puede el conocimiento que da origen a la Reciprocidad (yo te doy ahora que tu lo necesitas porque creo que tu me vas a dar cuando yo lo necesite) transformarse de alguna forma en el comportamiento que nos hace desear dar lo nuestro a otro sin esperar nada a cambio? El Altruismo y la Reciprocidad son comportamientos que en apariencia se asemejan porque ambos incluyen el que alguien le de algo a otro individuo, ya sea ayuda, protección, alimentos, refugio o cuidados. Pero que en esencia son comportamientos contrarios porque la razón del primero es obtener satisfacción por la vía de esperar que el otro te de un pago por lo que tu has hecho, mientras que con respecto al Altruismo se obtiene la satisfacción solo cuando se mejora la vida del otro ser. Es decir, la reciprocidad solo busca mejorar nuestra propia vida mientras que el altruismo busca mejorar la vida del otro. Es posible que el comportamiento Altruismo se pueda derivar o estar relacionado con el comportamiento Reciprocidad, en mi opinión la respuesta es un no rotundo porque en esencia, como acabamos de explicar, son comportamientos diametralmente opuestos. Entonces, ¿a que comportamiento podría estar relacionado el comportamiento Altruismo? Solo hay dos comportamientos en el cerebro que en apariencia y en esencia se parecen al Altruismo y estos son el comportamiento Instinto Maternal y el comportamiento Instinto Filial ya que cuando estos se activan, la satisfacción se produce cuando quien se beneficia es el otro. Pero tenemos que descartar de esta ecuación al comportamiento Instinto Filial ya que este solo se activa después que otro sujeto hace algo por nosotros. Ello es la razón por la que creo que es probable que el Altruismo verdadero esté más relacionado con el Instinto Maternal que con la Reciprocidad (altruismo recíproco).

¿Qué conocimiento pudo servir como fuente del comportamiento Altruismo y cual pudo ser su origen?

Samuel Bowles de la Universidad de Santa Fe, California propuso que el altruismo en nuestra especie, la cooperación y la ayuda entre individuos pertenecientes al mismo grupo pudo haber surgido como consecuencia de la necesidad de enfrentarnos a grupos rivales. Tomado de

Soler (2012). En esta parte del trabajo intentaremos explicar como esta situación pudo hacer aparecer el conocimiento necesario para desencadenar el surgimiento de las conductas de cooperación desinteresada en nuestra especie. Como hemos mencionado, el éxito de un Clan a la hora de luchar por un determinado territorio en el que vivir está muy vinculado a la cantidad de individuos que componen el Clan, a más individuos defendiendo el territorio más posibilidades hay de conservarlo. Este conocimiento básico compuesto por la imagen: mayor número de individuos (imagen causa) unida a la imagen: mejor es el territorio en el que se puede vivir (imagen consecuencia) probablemente pudo haber sido el que convenciese a la amígdala medial (comportamiento enfado ataque), quien se encarga directamente de la función Territorialidad, de que era conveniente ayudar a los miembros del clan en apuros porque, más individuos disponibles a la hora de luchar por un territorio garantizan más posibilidades de conseguirlo o de mantenerlo.

¿Es posible que individuos de otras especies hayan sido capaces de sintetizar este mismo conocimiento?

J. Goodal describió las incursiones que llevaban a cabo los chimpancés de Gombe, quienes se introducían en el territorio de otros clanes e iban matando, uno a uno, a los machos rivales hasta que fueron tan pocos que lograron apoderarse de sus territorios y de sus hembras jóvenes. Goodal (1986). Ello podría estar indicándonos que los chimpancés de Gombe sabían que cuantos más rivales mataran (imagen causa) más fácil sería apoderarse del territorio y de las hembras del clan vecino (imagen consecuencia). Recordemos que este tipo de conocimientos simple solo permite predecir lo que pasará en el futuro inmediato y en ningún modo deja entender o explicar el porque el evento que es causa desembocará en la circunstancia que es consecuencia.

Un conocimiento que contra todo pronóstico se convierte en un comportamiento

Lo realmente desconcertante acerca de este conocimiento que pudo dar origen al comportamiento Altruismo es que propone al individuo que lo porta: que se quite algo para darle a otro, que invierta tiempo precioso en ayudar o cuidar a otro sin esperar nada a cambio y por esta poderosísima razón jamás podría convertirse en un comportamiento porque la amígdala, entre otras, tiene la función de evitar que hagamos cosas que pudieran perjudicarnos. Y el darle parte de nuestro alimento, de nuestro tiempo o de nuestro esfuerzo a otro a cambio de

nada, simplemente, nos perjudica. Es decir, un conocimiento que indicase al individuo que es bueno dar o ayudar a otros no emparentados con él sin esperar nada a cambio, jamás se podría convertir en comportamiento porque ninguno de nuestros comportamientos innatos se asociaría con él para permitirle utilizar las emociones y sensaciones que controla, además de que tendría que vencer la férrea oposición a ello que ejercerán todos y cada uno de nuestros comportamientos innatos. ¡O no!

¿Por qué la amígdala permitiría que este conocimiento que perjudica al propio individuo portador se convirtiese en un comportamiento?

Recordemos que los comportamientos de nuestro sistema límbico no reciben directamente del exterior una imagen lo suficientemente buena como para poder responder de forma acertada a los eventos que van sucediendo y por ello su actuación depende de las imágenes y de los conocimientos (implicaciones causales de dos imágenes) de cadena corta que provengan de la corteza prefrontal. En el caso que nos concierne, cuando aparece delante de nuestra vista alguien que necesita comida, ayuda, protección o cuidados, por sistema de asas se encenderán en nuestra mente dos implicaciones causales simples que reflejan conocimientos antagónicos. La primera le permite ver al sistema límbico que: dar comida a quien la pide o dedicar tiempo a cuidar a ayudar a este individuo (imagen causa) provocará que comamos menos o que ni siquiera encontremos comida (imagen consecuencia). La segunda implicación causal simple le permitirá ver: que si no ayuda a este individuo morirá (imagen causa) y como consecuencia de ser menos podrían perder el territorio (imagen consecuencia).

La decisión de la amígdala. La amígdala y el resto de todo el sistema límbico del individuo se ven ante la disyuntiva de escoger entre el perder algo de comida, tiempo y energía o perder toda la comida, el abrevadero, los refugios. Es lógico suponer que la amígdala ha sido diseñada por la selección natural para escoger la opción menos costosa. El hecho de que todas las especies con cerebro cuentan con una amígdala o estructura homóloga es una prueba incontrovertible de su extraordinaria capacidad para elegir la inmensa mayoría de las veces la opción más acertada. Así que, predeciblemente, la amígdala escogería la opción menos mala, la que minimiza los daños y pérdidas. Y como resultado de esta elección el conocimiento que pudiera dar origen a todos nuestros actos altruistas podría haber obtenido luz verde para convertirse en un comportamiento ya que no tendría la oposición de esta poderosa estructura límbica.

Asociación entre el comportamiento Instinto maternal y el conocimiento que predicablemente da origen a nuestros actos altruistas

Pero el comportamiento Altruismo, cuya esencia es dar o ayudar a otro sin esperar nada a cambio, probablemente no tiene más nada que ver con nuestra amígdala porque esta de lo que se encarga es de que todo sea para nosotros. Así que aunque nuestra amígdala no se oponga a que demos a los otros, para que ello suceda obligatoriamente tenemos que experimentar la necesidad de darle a ese otro individuo que lo necesite, es preciso que no sintamos bien si ayudamos y que nos sintamos muy mal si no lo hacemos, porque de otra manera el conocimiento "ayudar a los que lo necesitan (imagen causa) permite contar con más individuos para defender el territorio (imagen consecuencia)", jamás tendría la potestad de lograr que nos comportemos en consonancia con lo que predica. Así que, como explicamos, necesariamente el nuevo conocimiento precisa asociarse con algún comportamiento que le deje acceder al uso de sus emociones y sensaciones de manera de poder obligar al individuo a cumplimentar con la tarea de la que él se encarga, en este caso, ayudar a los miembros del clan que lo necesiten.

¿Con que comportamiento se podría asociar el conocimiento que da origen a nuestros actos altruistas? El comportamiento Instinto Maternal, como mencionamos, activa emociones, sentimiento y sensaciones destinadas a hacer que el individuo de, cuide, proteja, ayude o alimente a otro sin esperar nada a cambio. Graicas a estas, provoca en los progenitores la necesidad de ayudar, alimentar, cuidar y proteger a sus descendientes y si la madre y en algunos casos el padre no cumplen con ello, le produce un sufrimiento indescriptible y si por el contrario lo hacen bien, obteniendo una respuesta de satisfacción y bienestar por parte del hijo, el comportamiento Instinto Maternal les premia con la más estruendosa sensación de felicidad que se pueda experimentar.



Fig. 9. El comportamiento Instinto Maternal no dispone en la corteza cerebral de una "fotografía" innata de las características físicas de su destinatario, por lo que la información acerca de las características de este presumiblemente se refiere a sus comportamientos.

Por ejemplo hace no mucho tiempo fue célebre en los canales que emiten documentales uno en el que se veían las peripecias de una leona que después de comerse a la madre, adopta como hija a una pequeña gacela. Se pudo observar la lucha desesperada de una madre adoptiva por que su retoño se alimentase y por evitar que otro león de su propia manada se la comiese.

Por su parte el comportamiento Altruismo crea en el individuo que lo ejerce una necesidad imperiosa de ayudar, proteger, alimentar o cuidar a un ser que lo necesita y de igual manera que sucede con el Instinto Maternal, si no ayudamos, cuidamos y protegemos a ese individuo nos sentimos mal y si lo hacemos experimentamos una gran satisfacción. De igual manera, como ilustraremos después, las características del individuo receptor de los cuidados del Instinto maternal son muy similares a las características del sujeto receptor de los beneficios del Altruismo. Estas importantísimas razones y similitudes son las que nos conducen a suponer que nuestro comportamiento Altruismo, para ser capaz de hacernos cumplir con la tarea a la que se dedica, tendría que asociarse a nuestro comportamiento Instinto Maternal.

Dificultades para la asociación del conocimiento que da origen a nuestros actos altruistas con el comportamiento Instinto Maternal

¿Puede el conocimiento: "es bueno para el clan y por lo tanto para uno mismo (imagen consecuencia) el ayudar a los otros miembros en problemas (imagen causa)", asociarse con nuestro comportamiento Instinto Maternal? A pesar de lo que acabamos de explicar, la realidad es que esta vinculación es en extremo difícil ya que el comportamiento Instinto Maternal necesariamente ha tenido que ser diseñado estrictamente por los genes para garantizar en exclusivo la supervivencia del vector en el que van a existir durante la próxima generación, así que predicablemente, de ninguna manera se activara para favorecer a otro que no sea un descendiente del propio individuo. En otras palabras, el comportamiento Instinto Maternal debe poseer poderosísimos mecanismos de reconocimiento y autenticación destinados a que nadie pueda hacerse pasar por un hijo y la existencia de esos mecanismos probablemente impedirían la asociación del comportamiento Instinto Maternal con el conocimiento que pudo originar el Altruismo debido a que el objetivo del Instinto Maternal es ayudar solamente al descendiente y el objetivo del Altruismo es ayudar a cualquier otro individuo de nuestro Clan que lo necesiten.

Necesidad de un sistema de autenticación y verificación genealógica

El comportamiento Instinto Maternal, como hemos mencionado, predeciblemente se compone de un conjunto de tareas y funciones que la progenitora debe cumplir para con sus descendientes, todo parece indicar que éstas radican en distintos núcleos del sistema límbico, la amígdala lateral, el accumbens y el área preóptica media del hipotálamo. Como sabemos la tarea inalienable a la vida por la que se responsabiliza este comportamiento es la de hacer que el individuo portador alimente, cuide y proteja a sus descendientes (el sujeto sobre el que actúa el comportamiento). Ello hace necesario que disponga de una sección a manera de "marco para fotos" en la que ir colocando las imágenes visuales, sonoras, táctiles y odoríficas de sus descendientes. Pero aquí tenemos el primer gran reto al que tuvo que enfrentarse la selección natural, veamos. Una tilapia no necesita construir una "foto" de sus descendientes para ser capaz de reconocerlos ya que toda la información con respecto a estos ha llegado a su cerebro por vía genética, pero este no es el caso de las aves como lo demuestra el hecho de que algunas aves puedan parasitar el nido de otras. También lo mismo sucede en mamíferos, aunque es menos frecuente, algunas madres mamíferas adoptan como hijos bebés de otras especies.

En realidad, para la selección natural es imposible poner en la corteza cerebral de un individuo la imagen de su descendiente por la sencilla razón de que nosotros, las aves y mamíferos, elaboramos las imágenes que somos capaces de percibir a partir de que recibimos los estímulos procedente de las cosas, objetos o individuos que generan dichas imágenes. Así que el gran reto al que se enfrenta aquí la selección natural es: el de ser capaz de que la madre no se equivoque, al menos en la mayoría de las veces, y coloque como sujeto (sobre el que tiene que ejercer su acción el comportamiento Instinto Maternal) a su propio descendiente y no a otro que por casualidad o con toda intención pasase por allí. En otras palabras, con la aparición de la corteza cerebral la selección natural se vería obligada a desarrollar un mecanismo de reconocimiento y autenticación de manera de que nadie pudiese usurpar el importantísimo puesto de hijo.

¿Como es posible que resolviese este problema la selección natural? En mi opinión lo que pudo hacer la selección natural es fabricar una especie de prefoto de las características más generales que debe tener el individuo que se convertirá en el objetivo del comportamiento Instinto Maternal, pero dicha prefoto no podía hacerse en imágenes sino que tendría necesariamente que reflejar comportamientos, comportamientos que deberían

coincidir con la variedad de comportamientos que va a mostrar el verdadero descendiente.

¿Que variedad de comportamientos del probable descendiente deberían servir para acreditar su autenticidad? En mi opinión serían los comportamientos propios de un ser desvalido, débil, desprotegido, hambriento, indefenso y necesitado de ayuda, protección, cuidado y alimentos ya que estos van a ser la clase de comportamientos típicos de los bebés que acaban de nacer. Como explicaba, para la selección natural era imprescindible desarrollar esta especie de prefoto con el objeto de que nadie, ningún otro individuo que no fuese un verdadero descendiente, pudiese usurpar el puesto de ser al que hay que alimentar, proteger y cuidar. Una prefoto (de transmisión genética) provista de estas características impediría por lo menos que individuos adultos se pudiesen hacer pasar por descendientes para obtener comida fácilmente.

¿Qué hecho parece estar diciéndonos que esta preimagen existe? Como explicamos, hay un momento en el que se produce una desconexión de la imagen del hijo de las núcleos que se responsabilizan de las diferentes tareas inherentes al comportamiento IM de la madre y esta separación es improbable que sea consecuencia de una decisión consciente de su madre sino que predeciblemente es el resultado de la acción de un proceso que se genera de forma automática (diseñado por los genes) en el cerebro de la progenitora. (Llega un momento en la vida de todo adolescente, ave o mamífero, en el que su madre le abandona para que inicie su vida como adulto independiente). De manera que la selección natural necesita dotar al cerebro de la madre de la información necesaria para que sepa cuando debe desencadenarse el proceso que separa la imagen del hijo del comportamiento Instinto Maternal de la madre. ¿Cuál podría ser esta información? Sabemos que la separación ocurre cuando el hijo empieza a convertirse en un adulto capaz de sobrevivir por sí solo, así que es lícito pensar que la información (estímulo señal) que desencadena el proceso de separación podría tener mucho que ver con el cambio de comportamiento del hijo adolescente. En otras palabras, cuando el comportamiento del hijo adolescente empieza a diferir del comportamiento de un ser desvalido, indefenso, necesitado de cuidados y de protección (características propias de un bebé) es cuando probablemente se desencadena el mecanismo de separación entre el comportamiento Instinto Maternal de la madre y la imagen del hijo. De manera que el hecho de que el cerebro de la madre sepa de forma autónoma cuando debe activar el mecanismo de separación pudiera ser una prueba de que el comportamiento Instinto Maternal de los individuos con corteza cerebral posee una especie de preimagen de las características más generales y esenciales que debe tener un descendiente.

Concluyendo: como explicamos al principio, se hace muy difícil la asociación del comportamiento Instinto Maternal con el conocimiento que posiblemente da origen a nuestros actos altruistas debido a que el comportamiento Instinto Maternal predeciblemente cuenta con una preimagen que le indica las características que debe tener el individuo que va a ser objeto de su actuación, preimagen que en ningún modo coincide con la imagen de gran parte de los sujetos que se benefician de los actos de altruistas (individuos adultos).

Circunstancias que favorecerían la asociación entre el conocimiento que probablemente da origen a nuestros actos altruistas y el comportamiento Instinto Maternal

Coincidencias entre las características de los receptores de los beneficios de ambos comportamientos

Tengamos ahora en cuenta el hecho de que el sujeto sobre el que actuaría el comportamiento Altruismo tendría características muy similares a las que acabamos de describir, los receptores de conductas altruistas son individuos indefensos, desvalidos, hambrientos, sin techo, que necesitan protección, alimentos, cuidados y ayuda. Al parecer hay una casi completa coincidencia entre las características que tiene el individuo receptor de los cuidados del comportamiento Instinto Maternal y las características del individuo receptor de los cuidados del comportamiento Altruismo lo que probablemente facilitaría el que el comportamiento Altruismo pudiese utilizar las emociones del comportamiento Instinto Maternal, sin embargo todavía nos queda un gran escollo por resolver. El comportamiento Instinto maternal está diseñado para trabajar únicamente con bebés mientras que el comportamiento Altruismo se ejecuta también para con adultos, circunstancia que probablemente haría imposible que el comportamiento Altruismo pudiese asociarse con el comportamiento Instinto Maternal. Pero la selección natural ya había resuelto este problema.

Una preimagen que también admite adultos. Consecuencias

Como hemos mencionado, en un reducido número de especies ha sucedido un cambio drástico en el proceso de desarrollo ontogénico del comportamiento Instinto Maternal. En estas el proceso de desconexión de la imagen del descendiente, de los núcleos neuronales que se encargan de las diferentes tareas inherentes al IM

no se produce y como consecuencia las progenitoras siguen considerando a estos individuos como hijos suyos durante toda sus vidas. Este proceso de cambio en el desarrollo ontogénico del comportamiento Instinto Maternal provocaría que este comience también a admitir individuos adultos como sujetos sobre los que tiene que ejercer su acción. Es en este momento cuando se produce una coincidencia absoluta de similitudes entre las características de los receptores de los beneficios que prodigan ambos comportamientos. Este hecho me hacen pensar que es muy posible que el comportamiento Altruismo (en fase de conocimiento) se puede asociar al comportamiento Instinto Maternal de manera de tener la posibilidad de utilizar algunas de las emociones y sensaciones que este controla para conducir al individuo a realizar actos de cooperación desinteresada. Quizás el hecho de que las emociones y sensaciones que nos conducen a realizar actos de altruismo son en alguna medida las mismas que nos hacen alimentar, proteger, cuidar y ayudar a nuestros hijos, pudiera ser la confirmación de que nuestro comportamiento Altruismo pudiera estar asociado a nuestro comportamiento Instinto Maternal.

Concluyendo este espacio me gustaría decir que acabamos de explicar como predeciblemente pudo surgir el comportamiento Altruismo, es decir, hemos descrito como aparece el conocimiento que quizás se convertiría en la base de nuestros actos de cooperación desinteresada y posteriormente hemos analizado como dicho conocimiento pudo asociarse al comportamiento Instinto maternal de manera de tener la posibilidad de activar algunas de sus emociones con la finalidad de lograr que el individuo sienta la necesidad de ayudar a otros que lo precisan. En otras palabras, hemos ilustrado como pudo haberse convertido en un comportamiento el conocimiento que pudiera originar nuestra conducta altruista. Ahora debemos resolver una importante cuestión que hemos dejado en el aire. Recordemos que explicamos que es muy posible que especies como suricatos y chimpancés hayan sido capaces de confeccionar el conocimiento que probablemente originó nuestro comportamiento Altruismo: ayudar a un miembro de nuestro clan que se encuentra en una situación difícil (imagen causa) nos dará ventajas a la hora de defender el territorio (imagen consecuencia). (También en estas especies el comportamiento Instinto Maternal incluye a individuos adultos.) Si esto es así, porque en ninguna de las dos se han podido observar conductas de cooperación desinteresada? ¿Por qué no se producen casos de verdadero Altruismo?

¿Solo nosotros ejecutamos actos de "Altruismo verdadero"?

El sistema límbico nos protege de nuestro comportamiento Altruismo

En la jungla no es muy difícil encontrar a alguien que lo esté pasando mal o que aunque no lo esté pasando mal, si ve que otro está dispuesto a darle parte de su comida, se aproveche de ello para obtener una ración extra. El que ello ocurriese incesantemente una y otra vez haría que el portador o el grupo de portadores del comportamiento Altruismo estuviesen en franca desventaja con sus competidores no altruistas. ¿Que impediría que el comportamiento Altruismo se activase continuamente para socorrer a los muchos individuos que les vendría bien que les achasasen una mano? La respuesta a esta pregunta es muy simple, el resto de nuestros comportamientos innatos se encargarían de hacer que el individuo no ayudase más de lo que lo puede hacer, se asegurarían de que los actos altruistas no pusieran jamás en peligro las posibilidades del individuo de sobrevivir y de transmitir sus genes a la próxima generación.

A pesar de que hay personas como la Madre Teresa o el Padre Vicente Ferrer, el Altruismo en la inmensa mayoría de los casos no logra sobrepasar los límites que imponen los comportamientos que velan por nosotros. Es decir, el Altruismo está supeditado a que nuestra amígdala y el resto de comportamientos (quienes garantizan que todo lo que esté a la vista sea para nosotros) autoricen que le demos algo o que ayudemos o a que invirtamos tiempo cuidando a alguien. Es decir, que en la inmensa mayoría de los casos solo damos cuando tenemos suficiente para nosotros, solo ayudamos cuando nos sobra tiempo, solo protegemos cuando no nos ponemos demasiado en peligro.

Veamos algunos ejemplos de cómo el resto de comportamientos se encargan de que el desempeño del comportamiento Altruismo no ponga en peligro la supervivencia del individuo o de sus descendientes. En un vídeo del parque Kruger, Sudafrica, en el que los búfalos rescatan a un pequeño que había sido atrapado por los leones, se puede observar una y otra vez como muchísimos miembros de la manada dan dos o tres pasos para amenazar a los leones que tienen al búfalito, ello quiere decir que lo hacen porque sienten la necesidad (que probablemente está siendo provocada directamente por sus comportamientos Instinto Maternal o Instinto Filial y no por un supuesto comportamiento Altruismo que predeciblemente no tienen) de salvar a uno de los suyos, pero inmediatamente retroceden y regresan a la seguridad del grupo porque el comportamiento Miedo-Huída de sus amígdala les impide ir más lejos.



Fig. 10. El límite de la actuación de un comportamiento lo impone el resto de comportamientos que componen al individuo.

Pero sin embargo hay ejemplos que parecen indicarnos lo contrario de lo que acabamos de decir, ejemplos que parecen decirnos que el comportamiento Altruismo, una vez que se activa, no es frenado por ningún otro comportamiento.

Falso Altruismo

Quizás esté recordando ahora el lector la imagen de una tribu de suricatos enfrentándose a otra para defender la última camada que ha sido puesta por la matriarca del clan y pensará no sin algo de razón el lector. He aquí un acto de genuino altruismo escenificado por todos los individuos jóvenes del clan, quienes que arriesgan sus vidas por defender a crías que no son sus hijos, se están sacrificando por el bien de retoños que no son suyos. Pero a pesar de la aparente evidencia no es posible afirmar con rotundidad que este sea un verdadero acto de altruismo. En el caso de los suricatos al igual que otras muchas especies de aves y mamíferos los hijos adolescentes se quedan al lado de sus padres y cooperan en la crianza de sus hermanos más pequeños. Normalmente ello suele suceder bajo la amenaza de castigo que ciernen sobre ellos sus progenitores. Por esta razón me niego a considerar estos actos de cooperación como actos de ayuda desinteresada debido a que ocurren con la intención de evitar un castigo.

También suelen producirse muchos casos de madres de una especie que adoptan crías huérfanas de otras especies, yo no me atrevería a afirmar categóricamente que estos son comportamientos altruistas porque muy bien pudieran ser dichos casos consecuencia de un error del comportamiento Instinto Maternal de la madre adoptiva a la hora de definir las características del descendiente. Circunstancia de la que se aprovechan muchas especies de aves como el Cuco para parasitar los nidos de otras aves. Recordemos, los individuos con corteza

cerebral solo disponemos de las imágenes que percibimos a partir de que estas imágenes comienzan a estimular nuestros receptores sensoriales, ello quiere decir que la selección natural no puede colocar en nuestra corteza cerebral una imagen de las características físicas del futuro descendiente y esto a su vez es lo que hace posible los errores de identificación. Por ejemplo, es muy común en muchas perras los embarazos psicológicos, un simple muñeco inanimado puede desencadenar en ellas la producción de leche, ello quiere decir que un muñeco que ni siquiera tiene que tener la forma de un perrito es capaz de activar el comportamiento Instinto Maternal de sus madreas adoptivas. A nadie en su sano juicio se le ocurriría pensar que una perra con un embarazo psicológico está actuando de forma altruista para con un muñeco de trapo.

Comúnmente consideramos que el cuidar, alimentar y proteger a una mascota es un acto de altruismo, pero en esencia pudiera no ser así ya que es en estos casos nuestro comportamiento Instinto Maternal es quien predeciblemente está al mando y la prueba de ello es que desarrollamos profundas relaciones de afecto con nuestras mascotas.

Ejemplos de la protección contra los estafadores

Hay un divertidísimo experimento realizado por Fans de Waal en el que hay dos capuchinos en diferentes jaulas. Los monos previamente han sido entrenados por separado para que devuelvan una piedra que les da el científico y a cambio reciben un trozo de comida. En el marco del experimento uno de los monos recibe un pepino por cada piedra que devuelve y en cambio su compañero recibe una uva. Lo divertido del experimento sucede cuando el capuchino que está recibiendo el pepino se da cuenta de que el que está al lado, cuando devuelve la piedra, recibe uva en vez de pepino. En este instante monta en cólera, arroja despectivamente el pepino contra el investigador y se aferra a la rejilla de la jaula estremeciéndola con frenesí implacable para mostrar su ira y descontento al científico.



Fig. 11. El resto de nuestros comportamientos vigilan con celo que nuestro comportamiento Reciprocidad no nos haga ser el tonto del que todo el mundo se aprovecha.

Aunque este es un ejemplo de Altruismo recíproco, y no de Altruismo verdadero, nos sirve para que podamos ver como nuestra amígdala y el resto de los comportamientos están pendientes y se ocupan de que no nos engañen y de que nadie se pueda aprovechar de nosotros.

El altruismo recíproco, como explicamos, es un comportamiento que hace que el individuo de algo o ayude a otro esperando recibir en el futuro un pago equitativo por parte de ese otro. Cuando el capuchino se toma el trabajo de dar la piedra al investigador lo hace porque en su mente se enciende el conocimiento: doy la piedra (imagen causa) recibo comida (imagen consecuencia). Este conocimiento es capaz de activar su comportamiento Reciprocidad ya que es muy similar al conocimiento que probablemente es el fundamento de este comportamiento: doy o ayudo ahora (imagen causa) porque me darán o ayudarán en el futuro (imagen consecuencia). Sucede que el comportamiento Reciprocidad, el comportamiento Nutrición y la amígdala dan por bueno el pepino que se recibe a cambio de entregar la piedra hasta que se enciende en la mente la imagen (percibida) que muestra que por entregar la piedra se puede obtener una riquísima uva en vez de un soso pepino. Es aquí, cuando la amígdala y el comportamiento Nutrición perciben que el pago que se está recibiendo (el pepino) por el esfuerzo de entregar la piedra no es el que debería ser y de forma inmediata activa la emoción de cólera furibunda que obliga al individuo a reclamar un mejor pago por su acto de cooperación (la entrega de la piedra). De esta manera la amígdala y los otros comportamientos se encargan de garantizar que nadie se pueda aprovechar de nuestra tendencia a ayudar a los otros.

Veamos ahora un ejemplo de genuino altruismo en el que se puede ver como el resto de comportamientos que nos integran nos defienden de los individuos que quieren aprovecharse a costa de nuestra inclinación hacia el altruismo.

Sentada en el suelo de la escalera del aparcamiento, al lado del cajero, una mujer de edad indefinida nos pide dinero con una voz lastimosa que nos remueve el alma, su rostro nos estremece porque es la viva imagen de la necesidad y de la desesperación, en sus brazos acuna lo que parece ser un niño de quien no logramos ver su cara porque está casi completamente cubierto por una pequeña sábana. En un primer instante nuestro comportamiento Altruismo de inmediato se dispara y nos hace sentir la imperiosa necesidad de llevarnos la mano al bolsillo y de darle algo a esa persona. Sabemos que si nos vamos de allí sin hacerlo nos sentiremos mal toda la tarde y que la mala conciencia no nos dejará tranquilos hasta que se nos olvide el suceso. Pero a penas un instante después percibimos un fugaz destello de fulgurante brillo dorado que proviene de uno de

los dedos semiocultos de la señora y nuestra corteza cerebral construye la imagen de un anillo de oro para hacernos saber que es lo que hemos visto. La imagen del anillo de oro activa todos los comportamientos que velan por nosotros y estos nos ponen en alerta máxima. Es entonces cuando reparamos en la circunstancia de que ninguna madre llevaría a su hijo tapado de esa manera porque ello impediría su correcta respiración y en ese mismo segundo nuestra corteza cerebral construye la imagen de un muñeco en forma de bebé debajo de la pequeña sábana. Un instante después acuden a nuestra mente, atrapadas por el sistema de asas, algunas imágenes de estos programas que últimamente se han puesto de moda en la televisión en los que el tema es la vida de las personas de la etnia a la que pertenece la mujer que nos está pidiendo dinero y recordamos las manos llenas de valiosísimos anillos de oro y pedrería (esta es el asa que atrae al resto de las imágenes), lo bien que viven, las inmensas pantallas de plasma que tienen, los cochazos que conducen y las opulentas e interminables fiestas de bodas y bautizos que celebran. Acto seguido se vuelve a activar nuestra amígdala (quien ha visto estas imágenes que acaban de proyectarse en nuestra corteza cerebral) pero esta vez para hacernos sentir bien si nos vamos de allí sin darle absolutamente nada, ya que esa es su función para estas ocasiones, la de protegernos de que nos timen. Entonces sabemos que si le damos algo a la mujer, es nuestra amígdala quien se encargará de hacer que nos sintamos mal toda la tarde por haberle dado algo que nos cuesta mucho ganar a alguien que se lo gana tan fácil y que tiene, con toda probabilidad, mucho más que nosotros.

Veamos ahora otro ejemplo. Nos hacemos socios de la ONG Global Humanitaria y comenzamos a donar dinero todos los meses para los niños de las familias menos favorecidas de América del Sur. Cada vez que nos llega el recibo del banco en el que aparece reflejada nuestra humilde donación, nuestro comportamiento Altruismo se activa y nos premia con una maravillosa sensación de felicidad y con una poderosa emoción de satisfacción que nos embarga. Pero un buen día los noticiarios comienzan a decir y a explicar que los responsables de esta ONG no enviaban el dinero que con tanto sacrificio damos a las personas que los necesitan sino que lo invertían en bolsa para obtener más dinero. A penas un segundo después de ver la noticia nuestra amígdala toma el mando y nos genera tal sensación de enfado avasallador y de desesperada frustración que nos obliga a coger el teléfono y a darnos de baja de forma inmediata, terminante e irrevocable, como donantes de esta organización. Solo cuando hemos hecho esto dejamos de sentir la imperiosa necesidad de evitar que se sigan aprovechado de nosotros.

Pero, el resto de comportamientos que nos componen solo es la mitad del mecanismo que nos protege contra los aprovechados, la mayor protección contra la tendencia a la mano suelta de nuestro comportamiento Altruismo viene del proceso de elección del destinatario de nuestras conductas altruistas.

Una pregunta sin sentido

Cuando nos preguntamos, ¿cómo pudo surgir y transmitirse el Altruismo, un comportamiento que va en detrimento de su portador en beneficio de sus competidores? Lo hacemos partiendo de que hemos asumido que los animales son como robots sin capacidad de decisión, autómatas condenados a cumplimentar mecánicamente todos aquellos programas de comportamiento que les ha instalado la selección natural en el cerebro. En mi artículo "Mistic River, los robot y los insectos eusociales" (Pérez 2012) explico que el ser que somos es un conjunto de comportamientos que actúan con independencia relativa los unos de los otros y que el cerebro predeciblemente es una especie de parlamento al que todos y cada uno de los comportamientos tienen que pedir "permiso" para poder ejecutarse y cumplimentar con su particular cometido. Si viésemos a los seres vivos con cerebro de esta guisa, jamás se nos habría ocurrido preguntarnos si un comportamiento como el Altruismo, destinado a ayudar a otros, podría surgir y transmitirse, ya que la pregunta carece de toda lógica. Los actos de cooperación para con otros sujetos jamás reducirían la eficacia biológica del ser que los proporciona ya que el comportamiento Altruismo, aunque existiese, nunca se activaría si la conducta de cooperación podría afectar en alguna medida el fitness del individuo benefactor, por la sencilla razón de que el resto de comportamientos se lo impedirían terminantemente. Esta es la razón que hace que carezca de sentido común el que nos preguntásemos: ¿cómo pudo surgir un comportamiento que beneficia a los competidores en detrimento de su portador? El hecho de que algunas especies sociales exhiban comportamientos de ayuda y cooperación quizás sea una prueba de que el modelo de cerebro que propongo (con forma de parlamento) pudiera ser en alguna medida correcto.

¿Por qué solo nosotros los humanos desarrollamos conductas de cooperación desinteresada?

Ahora estamos en condiciones de ofrecer una respuesta al importantísimo problema que nos sirvió para encabezar este espacio. ¿Por qué no se dan casos de genuino Altruismo entre los primates comunes ni en otras especies? La respuesta ya la hemos desarrollado en este espacio y es: porque el resto de comportamientos

que forman parte de un individuo se encargan de impedir que la cooperación desinteresada pueda poner en peligro la supervivencia del individuo. Y como la vida de nuestros parientes es en extremo precaria, sus sistemas límbicos ofrecen una férrea resistencia a que estos ayuden a otros sin esperar algo a cambio, debido a que en el marco de tales condiciones de precariedad y vicisitud, el ayudar a otros casi siempre influye de forma negativa en la capacidad de supervivencia del sujeto y de su prole. Por ello es lógico que el Altruismo verdadero, el que nos hace felices dando a los otros sin esperar nada a cambio, solo se da en una especie en la que los individuos cuentan con recursos suficientes como para que los actos de cooperación desinteresada no pongan en peligro la supervivencia de quienes los ofrecen.

Recordemos que cuando alguien da su vida en aras de defender o adquirir un territorio, no es esté un acto de genuino Altruismo sino que aquí de lo que se trata es del cumplimiento de la tarea Territorialidad compartida. Tarea de la que se encargan directamente nuestra amígdala medial (genera la sensación de furia que les obliga a luchar) y no es en lo absoluto responsabilidad de nuestro comportamiento Altruismo.

Ahora nos toca resolver otro importantísimo problema. Tenemos la impresión de que cualquier individuo puede ser el destinatario de nuestros actos altruistas, ya que podemos ser altruistas con conocidos y con personas que no conocemos de nada, con animales propios o desconocidos, inclusive, en apariencia, también podemos ser altruistas hasta con nuestros enemigos. Y esta circunstancia hecha por tierra todo lo que hemos venido analizado en este artículo hasta aquí. Veamos, a lo largo de este trabajo hemos tratado de explicar que el comportamiento Altruismo verdadero aparece porque es bueno para nuestro Clan y de rebote para nosotros y ello es la única razón por la que nuestra amígdala acepta que le demos algo o ayudemos a otro sin esperar nada a cambio. Es decir, que el Altruismo es un comportamiento que está estrictamente diseñado para que actúe sobre los miembros de nuestro propio grupo social y sobre nadie más. Así que el que seamos altruistas con personas que en apariencia no pertenecen a nuestro clan y con animales invalida todos los supuestos que hemos barajado hasta aquí..... ¡O no! ¿Quiénes son los destinatarios de nuestros actos altruistas, quienes son los miembros de nuestro Clan?

El destinatario de nuestros actos altruistas. Los miembros de nuestro Clan

Teniendo en cuenta el hecho de que previsiblemente solo podemos ser altruistas con los individuos que pertenecen a nuestro clan, ¿cómo es posible que seamos altruistas con personas y animales que nunca hemos visto y que

jamás volveremos a ver, cómo es posible que seamos altruistas, en apariencia, hasta con nuestros enemigos? La respuesta a este complejísimo dilema pudiera ser mucho más simple de lo que podríamos imaginar. La información procedente del exterior que recibe directamente nuestra amígdala no es lo suficientemente buena como para que ella sea capaz por sí sola de confeccionar la lista de los individuos que pertenecen a nuestro Clan, así que necesariamente ella y el resto de nuestros comportamientos del sistema límbico precisan de que nuestra corteza cerebral exponga las imágenes de los candidatos a formar parte de nuestro clan, unidas a las causas y razones por las que estos individuos deben ser admitidos en la categoría de miembros de nuestro grupo social. Y nuestra corteza, como veremos a continuación, es capaz de pasarle gato por liebre a nuestra amígdala, citaremos un ejemplo extremo para que nos demos cuenta de ello. Después de ver la película tiburón una gran parte de las decenas de millones de personas que la vimos en todo el mundo estaríamos mucho más tranquilos y felices si los tiburones desaparecieran del todo de los mares y ríos de nuestro planeta. Por el contrario hay un pequeño grupo de biólogos marinos que dedican sus vidas en cuerpo y alma a proteger a los tiburones, lo que quiere decir que su comportamiento Altruismo tiene como sujeto sobre el que actúa los escualos. Así que estos individuos han logrado convencer a sus amígdalas de que los tiburones pertenecen a su propio Clan. ¿Cómo lo han hecho? Esto lo veremos después porque primero vamos a explicar: que condiciones debe cumplir alguien para que nuestra amígdala le considere miembro de nuestro Clan.



Fig. 12. Pues sí, hay un Clan de protectores de los tiburones.

El enemigo común es lo que integra el Clan

Como explicamos anteriormente, el hecho de que un individuo con el que apenas estamos emparentados viva en nuestro mismo territorio no hace automáticamente que nuestra amígdala medial le ponga la calificación de amigo y aliado.

Ello solo ocurre cuando este nos ayuda a enfrentarnos a un enemigo común. Enemigo que puede ser de muy variada índole como veremos seguidamente. Por ejemplo quién acicala a un chimpancé le libera de un enemigo insoportable que hace su vida un calvario, los insectos parásitos. Por eso cuando alguien dedica mucho tiempo a acicalar con esmero a un compañero, la amígdala lateral (el comportamiento Instinto Filial) de quien recibe los cuidados hace que este individuo experimente, con relación al benefactor, profundos sentimientos de afecto, confianza, gratitud, amistad, solidaridad y cariño. Otra de las grandes batallas que libran cada día nuestros parientes es la guerra contra el hambre. Quien acepta dar a otro un trocito del mono que ha cazado, se convierte de inmediato en miembro del salón de la fama del comportamiento IF del beneficiado, quien identifica al benefactor como querido amigo y aliado al que hay que cuidar, querer, ayudar y beneficiar. Igualmente sucede con aquel que nos ayuda a vencer a un rival que impide nuestro acceso a una hembra o a la jefatura del Clan. Quien pelea a nuestro lado es calificado por nuestra amígdala medial (comportamiento Instinto Filial) como objeto de todo nuestro cariño, adhesión y cooperación y se encarga de hacer que experimentemos poderosísimas sensaciones de afecto, solidaridad, gratitud y amistad hacia el benefactor. Ahora, tengamos en cuenta el hecho, como nos explica Samuel Bowles, de que la mayor amenaza a la que tienen que enfrentarse nuestros primos lejanos proviene de afuera, son los clanes rivales que ansían sus territorios y sus hembras. Por ello entre las amígdalas laterales de quienes marchan y combate juntos, patrullando las fronteras del reino o incursionando en territorio de un Clan rival, se establece una férrea unión, una alianza poderosa y duradera. En el marco de una acción de combate contra un enemigo foráneo las amígdalas laterales de los miembros de un Clan se encargan de unirlos generando entre ellos sentimientos de afecto, compañerismo amistad, seguridad en el grupo y solidaridad, tan fuertes, que les permite superar antiguos conflictos y viejas enemistades.

Como ya mencionamos, esta es la razón por la que a los políticos nacionalistas les es tan fácil manipular las mentes de millones de personas. Solo tienen que decir insistentemente a un grupo de personas que alguien les está robando, o que alguien ansía parte del territorio en el que viven o que su territorio está dominado por los foráneos y hay que liberarlo. Estas ideas estratégicas tienen la facultad de difundirse con muchísima facilidad porque afectan directamente la función primordial de la que se ocupa la estructura más importante de nuestro cerebro, la amígdala medial. La defensa del territorio, como indicamos, es la tarea más importante para la que estamos programados los seres vivos porque de

su mejor o peor cumplimiento depende el éxito en el cumplimiento del resto de las tareas inalienables a la vida. Una vez que se han sembrado en la mente de miles de personas estas ideas entran en funcionamiento las amígdalas laterales de estos individuos (sus comportamientos Instinto Filial) contaminados por la propaganda nacionalista, ellas se encargan de unirlos y aglutinarlos haciendo que se sientan aliados, amigos y hermanos los unos de los otros. Generando en todos sensaciones de confianza, afecto, bienestar, seguridad, camaradería, solidaridad y de invencibilidad cuando están juntos, exactamente lo mismo que sentimos cuando vamos a ver a nuestro equipo de fútbol y nos sentamos en la grada rodeados de miles de los nuestros. . Estos sentimientos de amistad, cariño, confianza y adhesión se extienden al líder nacionalista, quien logra de esta manera convertirse en el amigo al que hay que cuidar, en el hermano al que hay que proteger, en el padre que hay que defender y en el ser maravilloso y extraordinario al que hay que ayudar y proteger, de decenas de miles y hasta de millones de personas. Circunstancia que luego ofrece pingües beneficios en las urnas y que termina por otorgar un poder absoluto al político nacionalista, poder que normalmente utiliza para convertirse en dictador aboliendo todas las instituciones democráticas. Los políticos populistas hacen exactamente lo mismo. Seleccionan un enemigo y luego convencen a miles de personas de que solo podrán mejorar la situación en la que viven si se enfrentan a dicho enemigo debido a que este es la causa de todos sus males. Las amígdalas mediales de millones de personas les unen entre sí y crean poderosos nexos de unión con el político populista quien termina por hacerse con el poder para posteriormente demoler todas las instituciones democráticas.

Conociendo ya la característica que debe cumplir un individuo para que nuestra amígdala lateral anexe su imagen y nos haga sentirle como amigo y aliado, ahora intentaremos explicar: que el hecho de que nuestra corteza cerebral es quien se encarga de presentar ante la amígdala el currículum de los aspirantes a convertirse en parte de nuestro Clan, hace posible que la corteza prefrontal tenga la posibilidad de pasarle gato por liebre a nuestra amígdala.

La corteza prefrontal manipula los currículos de los aspirantes a miembros de nuestro Clan

Intentaremos mostrar algunos ejemplos que nos permitirán ver que nuestra corteza prefrontal es capaz de engañar a nuestra amígdala.

Todos asumimos que pertenecemos a un Clan general que es la especie Humana, ello es la razón por la que no podemos evitar sentirnos mal cuando vemos que hay personas sufriendo en campamentos de refugiados o cuando sabemos

que hay niños sin comida y sin vacunas en África o cuando ha ocurrido un terremoto u otro tipo de catástrofe natural en cualquier parte del mundo, sin embargo esto no siempre funciona así.

La tarde del 20 de mayo de 2014 fue un día aciago en las Ventas, la corrida tuvo que ser suspendida porque los tres toreros sufrieron terribles cornadas. Comentando este hecho con una amiga defensora de los animales, una bellísima persona en todos los sentidos, me dijo. Ya se que no es correcto lo que voy a decir, pero yo me sentí bien de que por una vez ganaran los toros. Esto no es la primera vez que lo escuchaba. Y aquí me surgió la duda, ¿cómo es posible que alguien esté a favor de individuos pertenecientes a otro Clan (el toro) y en contra de un ser de su propio Clan (el torero)? Para encontrar la respuesta a este interesantísimo dilema, por un lado, tenemos que tener en cuenta el hecho de que el principal enemigo de nuestra amígdala y de todo nuestro sistema límbico son aquellos que nos hacen daño, quienes nos hieren, nos torturan, nos vejan, nos humillan y nos matan. Por el otro, debemos tener presente que el desarrollo de la sociedad occidental genera una extraordinaria separación entre la imagen del animal y la imagen de lo que comemos. Como consecuencia de ello muchísimas personas, sobre todo urbanitas, desvinculan los animales de la categorías de comida y herramientas de trabajo. Esta circunstancia es reforzada por la industria de los animales de compañía y la industria juguetera que constantemente nos bombardean con anuncios en los que las mascotas suelen mostrar conductas antropomorfas. Estas dos circunstancias traen como consecuencia que la corteza prefrontal informa al sistema límbico de muchísimas personas que los animales son nuestros iguales, así que sus amígdalas mediales, cuando ven que un animal es maltratado, herido y matado de forma violenta, como sucede en las corridas de toros, en las peleas de gallos y de perros, colocan en la categoría de enemigo a los toreros y a los dueños de gallos y perros de pelea, a los balleneros japoneses y en casos extremos, hasta las personas que consumen carne se convierten en sus enemigos. Ello es lo que hace que cuando sus amígdalas presencian que es el animal quien daña al enemigo (el torero) les premien con una sensación, sino de bienestar, si de satisfacción, de la misma forma que nos premian a cualquiera de nosotros cuando es nuestro equipo de fútbol quien le mete un gol al eterno rival.

Veamos ahora otro ejemplo: oímos la noticia de que un grupo de delfines evitó que los tiburones atacaran a un niño náufrago e inmediatamente nuestra amígdala adopta a los delfines como miembros de nuestro Clan, el clan de los individuos que tenemos como enemigos a los tiburones y que nos defendemos en común contra ellos y debido a esto sentiremos la

necesidad de dar protección a los delfines. Pero si por azar de la vida tenemos que dedicarnos al duro oficio de pescador y la cantidad que pescamos se ve reducida porque los delfines se comen los peces y por ello pedemos llevar menos dinero a casa, nuestra amígdala colocará a los delfines en la categoría de enemigos contra los que hay que luchar y eliminar si se puede. En este caso nuestra amígdala se unirá a la de los otros pescadores también afectados por los delfines.

Veamos un tercer ejemplo. Durante la segunda guerra mundial se dieron bastantes casos en los que republicanos españoles que luchaban al lado de el ejercito rojo intercedieron y en alguna ocasión lograron salvar la vida de franquistas españoles que luchaban en la división Azul. Y en la otra dirección sucedió lo mismo, también los franquistas de la división Azul intercedieron por la vida y en ocasiones lograron salvar a republicanos hechos prisioneros por los nazis.

Ambos clanes, republicanos y franquistas eran enemigos irreconciliables que solo unos pocos años antes se habían matado los unos a los otros inmisericordemente. Pero sin embargo la lejanía de la patria hizo crecer la importancia de un Clan al que ambos grupos pertenecían, el clan de los españoles y ello es lo que hizo que necesitaran salvar las vidas de sus compatriotas. En este caso la información de que eran españoles rodeados de individuos pertenecientes otros clanes (rusos y



Fig. 13. La lejanía de la patria hizo que en el frente ruso prevaleciera el sentimiento de pertenencia al Clan de los españoles.

alemanes) cobró una importancia trascendental, tanta, que hizo que las amígdalas obligasen a los españoles de ambos bandos a que intentaran salvar la vida del otrora odiado enemigo.

Estos tres ejemplos nos indican que pertenecemos a muchos clanes a la vez y que la fuerza con la que se impone el sentimiento de pertenencia a uno o a otro depende de las circunstancias y sobre todo, de la información que la corteza prefrontal le hace llegar a la amígdala.

Pertenecemos a muchos clanes a la vez

Las situaciones, problemas, asuntos, individuos, fenómenos que tenemos que enfrentar a lo largo de nuestra vida son innumerables y de muy diversa índole. Algunos de estos obstáculos que debemos afrontar también afectan a otros individuos que al igual que nosotros se ven obligados a lidiar con estos mismos problemas. Lo que integra un Clan es la necesidad común de luchar contra algo, ello sucede así debido a que nuestra amígdala medial convierte en amigo y aliado (en parte de nuestro Clan) a todo aquel que lucha a nuestro lado contra un enemigo común. Esto es lo que ocasiona que nuestra amígdala lateral nos integre en una inmensa multitud de clanes distintos durante nuestra existencia. Veamos.

Todos formamos parte de un Clan particular, el grupo social integrado por nuestro padres, abuelos, hermanos, al que también se suman en algunos casos tíos y primos. Después a este Clan se agregan nuestros hijos y sobrinos y posteriormente sus hijos, nuestros nietos. Además de pertenecer a este Clan particular pertenecemos a un grupo de clanes que van teniendo menos fuerza en la medida en la que se hacen más generales. Por ejemplo el clan de los miembros de nuestro barrio o pueblo, el clan de los miembros de nuestra provincia, el clan de los miembros de nuestro país, el clan de los seres humanos y por último el clan de los animales que viven en este planeta. Como mencionamos, la fuerza con la que nos sentimos miembros de uno o varios de estos clanes depende de las circunstancias que nos estén tocando vivir y de la información que la corteza prefrontal le haga llegar a la amígdala acerca de esa situación que estamos viviendo. Si vamos a un partido de fútbol contra el equipo del pueblo de al lado, nos sentimos amigos y aliados hasta del vecino que nos hace la puñeta. Si es el caso de que tenemos que enfrentarnos a un enemigo externo, nuestra amígdala nos hermana con los chicos del pueblo de al lado, quienes usualmente son nuestros rivales.

Pero además de estos clanes principales de los que todos formamos parte podemos integrar a la vez un número infinito de clanes más. Y esto se debe a dos cosas, la primera de ellas es que nuestra amígdala se informa a través de nuestra

corteza cerebral y ello permite a nuestras redes corticales prefrontales tejer todas las versiones de la realidad que estimen convenientes. Y la segunda causa de que podamos integrar un gran número de Clanes a la vez, es el hecho de que el Clan, la unidad de las amígdalas laterales que lo configuran, se crea ante la necesidad de ofrecer un frente común contra cualquier cosa, individuo, asunto, fenómeno, objeto o situación que pueda afectarnos. Veamos algunos ejemplos de todos los Clanes a los que pertenecemos. Algunos vecinos integramos un Clan que se opone a que se hagan obras en la finca puesto que nuestra situación económica ha ido de mal en peor. Podemos sentirnos parte del Clan de los hosteleros perjudicados por la ley del tabaco. Podemos pertenecer al Clan de los divorciados cuyas ex se han quedado con todo. Podemos pertenecer al Clan de los del Atlético de Madrid quienes nos enfrentamos a los del Madrid, a los del Barça, etc. Podemos pertenecer al clan de los empresarios autónomos que están de acuerdo con la bajada de los días que hay que pagar por despido, ya que a ellos lo que les afecta tener que pagar grandes indemnizaciones. Podemos pertenecer al Clan de los afectados por la preferentes, nuestras amígdalas nos unen contra los Blesa y compañía. Podemos pertenecer al Clan del PP, en este caso nuestra amígdala nos unen contra los del Clan PSOE. Podemos pertenecer al clan de padres con hijos con enfermedades raras, en este caso nuestras amígdalas nos unen en la lucha contra la indiferencia de los gobernantes. Podemos integrar el clan de quienes defendemos las ciencias, nuestras amígdalas laterales nos unen contra los constantes recortes del actual gobierno. Podemos pertenecer al Clan de los trabajadores que se sienten afectados por la nueva reforma laboral. Si no podemos pagar la hipoteca y el banco amenaza con quitarnos la casa nuestra amígdala nos une a las personas vinculadas al Clan stop desahucios. Podemos pertenecer al Clan de las madres solteras cuyos ex no contribuyen a la manutención de los hijos (nuestra amígdala nos une en contra de los ex). Podemos pertenecer al Clan de los republicanos porque estamos artos de pagar para mantener una figura decorativa con toda su familia, algunos más chorizos que otros. Podemos pertenecer al Clan de los protectores de animales, en este caso nuestras amígdalas se unen para luchar contra todo lo que pudiera afectar a perros, gatos, chimpancés, delfines, elefantes, ballenas y hasta, en algunos casos, los tiburones. Nuestro grupo social de amigos se estructura alrededor de las personas que cooperan con nosotros, que nos ayudan y que nos prestan su hombro para lidiar con las dificultades de la cotidianidad. Con relación a todos ellos nuestro comportamiento Instinto Filial nos hace experimentar poderosas sensaciones de afecto, solidaridad, gratitud, cariño y confianza.

En todos los ejemplos de integración de clanes que acabamos de exponer, las amígdalas se ponen de acuerdo para luchar contra enemigos comunes, pero, ¿qué sucede cuando quien forma parte de nuestro Clan es el enemigo? Como mencionamos, hay algunos biólogos marinos que dedican sus vidas estudiar, cuidar y proteger a los tiburones, lo que quiere decir que los escualos son el sujeto sobre el cual vierte su acción el comportamiento Altruismo de estos científicos. Pero ello no puede suceder a menos que con anterioridad sus amígdalas hayan colocado a los tiburones como miembros de algunos de los clanes a los que pertenecemos. ¿Cómo lo logran? Convertir a los tiburones en sujeto de nuestro comportamiento Altruismo es harina de otro costal y muy pocas personas lo logran. Para ello hay que explicar con sumo lujo de detalle a la amígdala que los escualos son parte importantísima del ecosistema y que sin ellos el planeta no funcionará bien y ello terminará por perjudicarnos a nosotros mismos. Con estos argumentos algunos biólogos marinos logran convencer a sus amígdalas de que es necesario, para nuestro propio bien, salvar a los tiburones. Y como la situación de los tiburones en general es bastante precaria ya que los matamos indiscriminadamente con el beneplácito de la inmensa mayoría de las personas, el comportamiento Altruismo de este grupo de biólogos marinos los adopta como sujetos sobre los que volcar sus cuidados. Después de ello las amígdalas de las personas que han adoptado a los tiburones como objeto de sus actos altruistas se unen para luchar contra todo aquel que quiera verlos desaparecer.

Podemos resumir este espacio diciendo que, aunque aparentemente ejercemos el altruismo con desconocidos, en esencia ello no es así, nuestro comportamiento Altruismo solo adopta como objeto de su protección y cuidado a individuos que pertenecen a nuestro propio Clan.

Cuando actuamos de forma altruista con alguien que nunca hemos visto y que no volveremos a ver nunca más o con animales y hasta en apariencia con enemigos, lo hacemos porque nuestra corteza prefrontal en algún momento de nuestra vida ha elaborado la información de que ese sujeto, con el que aparentemente no guardamos ningún tipo de relación, forma parte de alguno de los muchos clanes a los que pertenecemos. Así que en última instancia tampoco nuestro altruismo es un acto completamente desinteresado desde el punto de vista de la selección natural, ya que al ayudar a los individuos de nuestro propio Clan también nos estamos ayudando, de rebote, a nosotros mismos.



Fig. 14. Aunque parezca lo contrario, el altruismo solo lo ejercemos con los miembros de nuestro Clan.

Las reglas de conducta social, los preceptos morales y las normas de convivencia se transforman en comportamientos

Después de haber leído este espacio dedicado al Altruismo verdadero intuyo que es muy probable que en este instante usted esté pensando. El análisis ofrecido para explicar: ¿cómo surgen las conductas altruistas? pueda que tenga algún sentido lógico. Pero yo no necesito explicarle a mi amígdala que: ayudar a los demás me permitirá vivir en un mejor territorio, para sentir la necesidad de ayudar a las personas con serios problemas. Ello pone en entredicho todo lo que hemos explicado hasta aquí. Así que ahora nos toca explicarle por que usted, en particular, es altruista.

Cuando nacemos nuestra corteza cerebral viene casi por completo vacía de información. Así que su amígdala necesita que le enseñen lo que es bueno hacer, de manera de asegurarse que usted lo repita siempre que se pueda. Y lo que podría acarrearle algún perjuicio, con la finalidad de prohibirle ejecutar dichas acciones. Por ejemplo, su amígdala va a recibir la información de que es muy malo que usted meta los dedos en un enchufe o que se lance de una altura de 30 pisos, y por ello se lo prohibirá terminantemente con las correspondientes sensaciones de miedo. Pero no todas las cosas que pudiesen perjudicarle provienen de nuestro contacto directo con el mundo físico, infringir las leyes que nos hemos impuesto con la finalidad de poder convivir pacíficamente los unos con los otros también puede ocasionarnos serios contratiempos. Por ello la estructura más importante del cerebro normalmente le prohibirá que usted ataque un banco o que asesine a otra persona debido a que su corteza prefrontal le ha explicado que ello le conduciría a la cárcel y le ha mostrado lo que es una prisión y las peculiaridades que reviste el tener que pasar un tiempo allí.

Del mismo modo, no todas las normas que nos permiten una mejor convivencia están escritas en forma de leyes, algunas de ellas son solo eso, normas de convivencia social que le indican a nuestra amígdala que es correcto y que no es correcto a la hora de relacionarnos con otras personas. Saltárselas no provoca un perjuicio directo como el que nos ocasionaría robar en una vivienda o cruzar una calle sin antes mirar a ver si vienen coches, pero si nos va perjudicar muy seriamente en todo lo que respecta a nuestra posibilidad de obtener cosas y lograr objetivos que nos benefician. Las normas de convivencia social son una especie de reglamento al que tenemos que ceñirnos en función de conseguir la aceptación social de las personas con las que tendremos que relacionarnos en cada momento y lugar durante toda nuestra vida. De que esos individuos nos acepten o no depende que nos ayuden o no a abrir las puertas de la vida. Lo que se traduce en encontrar un buen trabajo, una buena pareja, buena casa, buen colegio para los hijos, que te venda buenos filetes el carnicero, que el peluquero lo haga lo mejor posible, que te inviten a todas las fiestas y eventos que se celebren, donde tendrás la posibilidad de encontrar más opciones de negocios en dependencia de si te ciñes o no a las reglas de convivencia social. Las normas de convivencia social son miles y son generales porque funcionan para todos. Ahora no nos detendremos a analizarlas, solo nos centraremos en la que nos concierne en este caso. El ayudar a los más desvalidos.

Una vez que se extiende en el marco de una comunidad la cooperación con los más necesitados y ello beneficia a la comunidad en su conjunto, la cooperación con las personas que más lo necesitan se establece como una norma de conducta social. Lo que provoca que las amígdalas de los sujetos de las siguientes generaciones, cuando aprenden (a través de la corteza prefrontal) el paquete de conocimientos que les indican que es lo que se debe y que es lo que no se debe hacer, incluyen como algo que es bueno y que por consiguiente se debe hacer, el ayudar a los desvalidos. Esto es lo que permite la existencia del comportamiento Altruismo en usted, en mí y en todas las personas. Aquí es cuando el conocimiento (norma de convivencia social) de que es bueno ayudar a los demás (imagen causa) porque ello termina por beneficiarnos al obtener la aprobación de los otros (imagen consecuencia) se asociaría con nuestro comportamiento Instinto Maternal y así obtiene las emociones que le permitirán motivarle para que usted actué de forma altruista con los más necesitados. Esta es la razón por la que la inmensa mayoría de personas desarrollan conductas de cooperación desinteresada. Pero para que el ayudar a los individuos con serios problemas se convirtiese en una norma de

conducta social, primero tendría que haber surgido el conocimiento que nos permite saber que esto funciona así. A intentar explicar esto es a lo que hemos dedicado este trabajo.

Conclusión

Hemos ofrecido a lo largo de este artículo una serie de argumentos con los que hemos tratado de explicar: como la "fina" corteza cultural desarrollada por nuestra especie logra obtener y emplear las herramientas necesarias para contener, embridar y someter nuestra naturaleza egoísta. Pero a diferencia de lo que Tomas H. Huxley pensaba, nuestra cultura no es para nada una fina capa.

Nuestra tendencia a cooperar con los demás tiene dos razones de ser. La primera de ellas es que la corteza cerebral predicablemente dispone de un mecanismo muy elemental que es capaz de elaborar conocimientos muy básicos, pero que sirven para que los individuos puedan predecir el futuro inmediato y actuar en consecuencia. El hecho de que estos conocimientos se estructuren en forma de implicaciones causales simples (dos imágenes unidas por una relación causal) hace posible que indiquen a los individuos que es lo que se deben hacer en el marco de una situación determinada en aras de sacar provecho de ella. La segunda circunstancia que hace posible nuestra tendencia a la cooperación es el hecho de que estos conocimientos predicablemente logran adquirir la capacidad de activar emociones y sensaciones para obligar y motivar al individuo a que resuelvan satisfactoriamente el problema o el asunto del que se responsabilizan. Ello, como explicamos, quizás lo logran asociándose a algún comportamiento de transmisión genética de manera de poder utilizar las emociones y sensaciones características de estos para su propio fin.

Ello nos conduce a concluir que nuestra cultura, aunque es solo una capa que cubre nuestra naturaleza egoísta, como pensaba Tomas H. Huxley, en ningún modo podría considerarse que no tiene la posibilidad de apaciguar, controlar y hasta someter nuestros impulsos egoístas. Porque nuestros conocimientos (normas de conducta, valores y principios morales), al convertirse en comportamientos, adquieren una identidad, un poder y una fuerza muy similares a los que ostentan nuestros comportamientos innatos, aquellos que nos hacen egoístas. Claro está que esa capa de comportamientos adquirida por medio de la cultura no cubre de forma uniforme a todos los individuos, por ello se dan casos como el del padre Vicente Ferrer por un lado y por el otro hay individuos como el tristemente célebre concejal de cooperación valenciano Rafael Blasco. Pero esto ya es un tema para otro artículo.

REFERENCIAS

- Acarín, N. 2001. *El Cerebro del Rey*. RBA Libros, Barcelona.
- Bustos, M. 2008. Núcleo accumbens y el sistema motivacional a cargo del apego. *Rev. Chil. Neuro-Psiquiat.* 46: 207-215.
- Carter, R. 1998. *El Nuevo Mapa del Cerebro*. RBA Libros, Barcelona.
- Castro Nogueira, L. 2012. Evolución y ética: las bases biológicas de la moral. *eVOLUCIÓN* 7(esp.): 55-61.
- Damasio A. 2007. *El Error de Descartes*. 4ª ed. Drakontos Bolsillo, Ed. Crítica, Barcelona.
- Gómez, J.C. 2007. *El Desarrollo de la Mente en los Simios, los Monos y los Niños*. Ed. Morata, Madrid.
- Goodal, J. 1986. *En la Senda del Hombre. Vida y Costumbre de los Chimpancés*. Ed. Salvat, Barcelona.
- Menzel, C.R. 1991. Cognitive aspects of foraging in japanese monkey. *Anim. Behav.* 41: 397-402.
- Merino, S. 2013. *Diseñados por la Enfermedad*. Ed. Síntesis, Madrid.
- Pérez Ramos, H. 2012. Mystic River, los robot y los insectos eusociales. *eVOLUCIÓN* 7(1): 45-51.
- Pérez Ramos, H. 2012. La empatía, probablemente el más afilado de los colmillos que haya diseñado jamás la selección natural. *eVOLUCIÓN* 9(1): 27-44.
- Rubia, F.J. *¿Qué Sabes de tu Cerebro?*. Ed. Temas de Hoy, Madrid.
- Soler, M. 2012. *Adaptación del Comportamiento: Comprendiendo al Animal Humano*. Ed. Síntesis, Madrid.
- Toro, M. A. 2012. Altruismo y cooperación en los grupos humanos. *eVOLUCIÓN* 7(esp.): 33-41.
- Warneken, F. y Tomasello, M. 2006. Altruistic helping in human infants and young chimpanzees. *Science* 211: 1301-1303.

Información del Autor

Hernán Pérez Ramos es licenciado en Educación, especialidad Historia y Ciencias sociales por el Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona de Ciudad Habana. Ha escrito el libro "*La Huella de Mary, el Surgimiento de los Homínidos*". Y ha publicado 5 artículos en esta misma revista.

La Naturaleza no enseña nada: Los errores del instruccionismo en el estudio de la conducta y de la adaptación

Juan Moreno

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

eVOLUCIÓN 9(2): 61-73 (2014).

“La evolución es el ambiente con mayúsculas, pero está escrita en los genes”

Plomin et al. (2013)

La conducta animal ha sido estudiada por los humanos desde los albores de su evolución y aún antes, pues ningún organismo puede sobrevivir sin conocer a las otras especies con las que comparte hábitat. Igual que la morfología de un pez expresa conocimiento sobre las propiedades del agua, la conducta de cualquier animal expresa conocimiento de su medio sin el cual sería imposible la supervivencia. Este conocimiento implícito presente en los genes de cualquier ser vivo se hizo explícito a partir de que el desarrollo del cerebro humano permitió el lenguaje y la capacidad de pensar conscientemente (Plotkin 1994). Como resultado de este pensamiento explícito que fue posiblemente el origen de la ciencia (Liebenberg 2013), la conducta animal fue explicada desde antiguo como producto de una “Naturaleza sabia” que ha establecido por principio su adecuación a los objetivos de supervivencia y reproducción de los individuos. Para Aristóteles, la explicación del carácter adaptativo de la conducta residía en unas causas finales que eran dichos objetivos. Para la “sabia Naturaleza”, el fin explicaba los medios. Obviamente si los objetivos no se cumplieran, no habría animales que pudieran comportarse. Esta visión providencialista fue posteriormente aprovechada por las religiones monoteístas para sustituir a la “sabia Naturaleza” por un igualmente sabio creador todopoderoso que velaba por la supervivencia de sus criaturas. El carácter adaptativo de la conducta podía ser así explicado por la providencia divina que permitía a todas sus criaturas persistir en un medio hostil. Los animales se comportaban adaptativamente por principio.

Esta visión providencialista (Cziko 1995) expresada claramente en la llamada “teología natural” coexistía desde antiguo con una comprensión intuitiva sobre la adaptación en vida de la conducta de los animales a sus experiencias más recientes. Esta flexibilidad de la conducta claramente percibida, especialmente en las presas

y animales domesticados, fue interpretada como “aprendizaje” en analogía con el aprendizaje cultural humano. Las actividades circenses de los animales expresaban esta maleabilidad de la conducta animal. Donde alguien “aprende”, otro “enseña” o “instruye” como en las escuelas o academias. La experiencia directa decía que el ambiente “enseñaba” o “instruía” de forma inmediata a los animales a ajustar adecuadamente su conducta a los requerimientos impuestos por el medio. El término vernáculo “adaptación” reforzaba esta analogía de los ajustes de la conducta al ambiente con el aprendizaje humano. Esta visión “instruccionista” (término tomado de Plotkin 1994) intuitiva de la conducta fue la base de la primera teoría evolutiva, la de Lamarck (1809). Lamarck fundamentó toda su teoría evolutiva en la capacidad observable de los animales por dejarse instruir por el ambiente en cuanto a su conducta. La conducta aprendida induciría posteriormente cambios físicos en los animales. La conducta flexible era el motor de la evolución. Si el “providencialismo” venía a decir que la conducta era adaptativa por que sí, el “instruccionismo” (dado que Lamarck propuso además otras ideas y que no fue el primer instruccionista, prefiero este término al de



Fig. 1. El instruccionismo postula a priori la capacidad en los organismos de aprender “lo que hay que aprender” del ambiente en cada situación. Ello implica que deben aprender a aprender correctamente. Para aprender a aprender, hay que saber cómo aprender a aprender correctamente. El eterno retorno no puede cortarse de forma instruccionista. Así pues el instruccionismo presupone lo que tiene que explicar, un grave defecto lógico y científico.

“lamarckismo”) postulaba que lo era por aprendizaje directo del medio. Si el primero planteaba un milagro inexplicado y vacío de contenido científico, el segundo implicaba un atajo explicativo que iba directamente del cambio ambiental a la respuesta adecuada. Según este atajo o “gancho celeste” según la terminología de Dennett (1999), la capacidad de aprendizaje, demostrada por la adaptación evidente de los organismos a su medio, tenía que existir por que sí. Este atajo nos lleva directamente al problema epistemológico de cómo se adquiere nuevo conocimiento. ¿Realmente se puede adquirir nuevo conocimiento de forma dirigida y a demanda?

Uno de los primeros pensadores que dudó de esta posibilidad fue Platón cuando planteó en uno de sus diálogos la paradoja de Menón. En este diálogo, Menón plantea a Sócrates como es posible buscar conocimiento nuevo sobre algo desde la ignorancia absoluta. Para buscar conocimiento nuevo sobre algo hay que saber lo que se desconoce y por tanto hay que conocerlo conceptualmente. La solución de Platón es que ya poseemos de forma innata los conceptos básicos que subyacen al conocimiento supuestamente nuevo. Estos conceptos son ideas eternas presentes en todos nosotros desde el nacimiento. Es imposible por tanto obtener conocimiento de forma dirigida. Después de Platón otros filósofos se han mostrado escépticos sobre la posibilidad de aprender directamente del ambiente sin bagaje previo. Así David Hume (1777) propuso que el aprendizaje de generalidades del ambiente en base a observación del entorno, también llamado inducción, no se sostiene en el razonamiento sino que es una capacidad humana instintiva como la que existe en los animales no humanos. Aprendemos del ambiente por instinto, no según la razón. Kant (1781), estimulado por el escepticismo de Hume, planteó que solo entendemos el mundo por medio de categorías innatas como el tiempo, el espacio y la causalidad. Solo aprendemos del ambiente lo que nuestro sistema está preparado para captar desde el nacimiento. Popper (1972), siguiendo los pasos de sus ilustres predecesores, propuso que las nuevas ideas no pueden derivarse de ninguna manera de conocimiento previo si son realmente nuevas. Solo pueden basarse por tanto en procesos aleatorios. En definitiva, el escepticismo epistemológico de algunas de las mentes más lúcidas que conocemos plantea que no puede haber progreso cognitivo dirigido, solo interacciones con el ambiente en que la información es interpretada por instrucciones previamente existentes. Pero no es necesario acudir a los filósofos para percibir que el aprendizaje es imposible sin saber exactamente por adelantado lo que hay que aprender y como hacerlo. Como señala Heschl (2002), ante una situación ambiental cualquiera en que se puede

modificar la conducta en función del ambiente, un sujeto cualquiera se tiene que plantear primero las preguntas siguientes:

1) ¿Existe una situación en la que se puede aprender algo? Si no se sabe, el resultado de la nueva conducta es arbitrario;

2) ¿Cuál de los innumerables estímulos del ambiente es relevante en cada situación? Si no sabes de antemano cuál es o cuales son, la conducta no conducirá a ninguna mejora;

3) ¿Con qué otro estímulo lo asociamos? La cantidad de asociaciones entre estímulos del ambiente puede ser infinita dependiendo de los sistemas perceptivos del animal en cuestión;

4) ¿Con qué otro estímulo no lo asociamos?

En definitiva, todas estas capacidades necesarias para aprender adecuadamente no pueden haber surgido por aprendizaje por que ello conlleva un retroceso eterno (aprender a aprender a aprender....). La cuestión epistemológica es por tanto como saben los organismos lo que tienen que aprender, y dicha cuestión no puede ser respondida mediante apelación al propio aprendizaje (Heschl 2002). Los partidarios más beligerantes del instruccionismo han de basarse pues en los argumentos providencialistas de que la capacidad de dejarse instruir existe por que sí. Esta endeble base filosófica del instruccionismo antiguo y moderno no ha impedido su resurgir reciente en la distorsionada versión neolamarckista de la epigénesis o expresión diferencial del material genético como veremos más adelante.

La comprensión sin atajos de la adaptación de la conducta vino de la mano de Darwin. El medio no instruí, sino seleccionaba entre variantes heredables de una misma conducta. La variación surgía por errores en los procesos de herencia existentes en los seres vivos. No todos los animales de una población se comportaban igual y algunas variantes favorecían más a la supervivencia y reproducción de los mismos que otras. Posteriores desarrollos han mostrado que los errores son producto de las leyes de la física y la herencia es la base de la vida. Solo herencia y física son necesarias para explicar la adecuación de la conducta. Como la herencia es básicamente química de la replicación (Pross 2012), la física y la química permiten explicar la adaptación. En cuanto al aprendizaje, éste ha surgido como una capacidad heredable y por tanto seleccionable en el sistema nervioso de los animales. Ni los milagros providenciales ni los atajos de la instrucción directa son por tanto necesarios para explicar el conocimiento del medio expresado por la adaptación observable. Esta comprensión de la variación y de la herencia es la que ha permitido la domesticación de los animales mediante selección de conductas más favorables para los intereses humanos y ha llevado a la inmensa variedad de razas de animales domésticos (Darwin 1868). Los ganaderos no instruyeron a

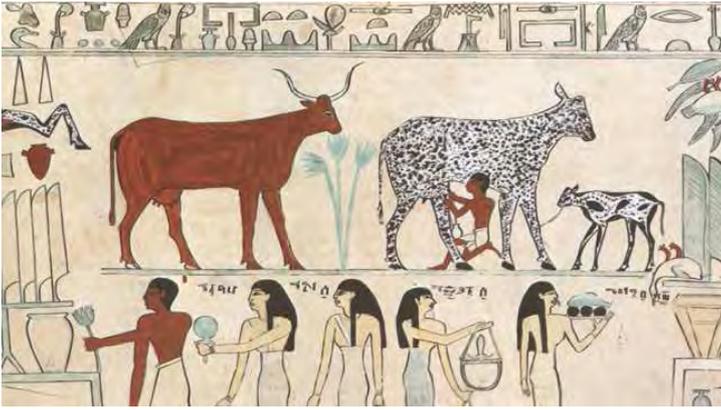


Fig. 2. La domesticación se basó en la selección, al principio involuntaria, de rasgos apreciados en animales con los que nuestros ancestros coexistían estrechamente. El instruccionismo estuvo y sigue ausente de cualquier proceso de domesticación y favorecimiento de rasgos. Hasta las más especializadas conductas de nuestras mascotas se deben a selección de rasgos apreciados por los criadores.

los perros o a las vacas a ser dóciles o a producir leche sino que seleccionaron entre los individuos más dóciles o más productivos para reproducirse, eliminando a los demás del conjunto de progenitores. Involuntariamente también seleccionaron timidez en sus antiguos depredadores y muchos otros rasgos en una fracción creciente de la biota. Probablemente la comprensión ancestral humana de que la conducta es heredable provino de la observación de la conducta animal y de su propia conducta. Variación y herencia saltan a la vista de cualquier observador de la naturaleza sin prejuicios filosóficos. El principal prejuicio en la base del instruccionismo es la identidad “esencial” entre todos los animales de un mismo tipo que la herencia mantiene porque es su única finalidad. Según los esencialistas existe herencia para mantener constantes las esencias, y las esencias se expresan como respuestas únicas a cambios ambientales. Sin esencialismo, Lamarck no hubiera podido idear su teoría evolutiva. La visión de los agricultores y criadores de ganado nunca fue instruccionista sino seleccionista porque carecían de prejuicios filosóficos. El instruccionismo proviene de una comprensión distorsionada posterior basada en analogías forzadas con el aprendizaje cultural humano.

La herencia de la conducta conlleva el concepto de conducta innata o instinto. Desde Aristóteles, el primer investigador de la conducta animal que conocemos por sus escritos, algunos animales fueron considerados incapaces de aprender por ser muy diferentes a los humanos, por lo que toda su conducta debía ser instintiva. Más tarde Descartes amplió el carácter instintivo de la conducta a todos los animales no humanos. Los animales, según esta visión simplificadora, son mecanismos automáticos cuyas conductas carecen totalmente de flexibilidad. En contra del automatismo innato de Descartes, John Locke (1689) planteó que la mente nace como una tabla rasa sobre la que el ambiente escribe la

información precisa para sobrevivir. La tabla rasa es desde entonces la base del instruccionismo en las ciencias humanas (Pinker 2002). Darwin quiso diluir todo lo posible la barrera erigida por los cartesianos entre humanos con aprendizaje y animales no humanos con instintos. Como expuso en su obra pionera sobre la expresión de las emociones (Darwin 1872), los humanos también tenían instintos mientras algunos animales eran capaces de aprender nuevas conductas. Algunos filósofos como William James (1890) le apoyaron al postular la existencia de numerosos instintos en la especie humana. El estudio de la conducta animal derivó después de Darwin hacia el estudio de las anécdotas sobre la mentalidad de los animales de su discípulo Romanes (1882) por un lado o hacia una visión neo-cartesiana sobre el condicionamiento de las respuestas animales impulsada por los trabajos del fisiólogo Pavlov. Esta segunda línea adquirió predominancia en la primera mitad del siglo pasado conduciendo desde los estudios de fisiología de la digestión del propio Pávlov hasta la utopía conductista de Walden-2.

Iván Pavlov (1927) estudió la asociación de nuevos estímulos a viejas respuestas reflejas y puede ser considerado el padre del conductismo (del inglés “behaviourism”) o estudio del aprendizaje animal prescindiendo de cualquier proceso cognitivo y de la evolución. Los perros salivan al oír una campana que han aprendido a asociar con la llegada de alimento. Posteriormente John Watson (1924) se embarcó en estudios experimentales sobre como se asocian emociones viejas a nuevos estímulos. Los bebés pueden asustarse ante cualquier objeto que asocien de algún modo con una experiencia desagradable. De él procede la idea de que es posible programar por aprendizaje a un individuo para realizar cualquier tarea o desarrollar cualquier tipo de vida, el aparente ideal de muchos instruccionistas de cualquier signo ideológico. Edward Thorndike (1911) fue el pionero del aprendizaje por “prueba-error”. Según su concepción, los estímulos del medio seleccionan entre conductas aparentemente aleatorias en lugar de instruir directamente sobre la respuesta adecuada en cada situación. Los gatos encerrados en una jaula aprenden con el tiempo a identificar cual de sus movimientos aleatorios conduce a abrir la portezuela que les permitirá salir. Skinner (1974) fue el más prolífico de los conductistas cuando estudió el llamado refuerzo de conductas al azar mediante asociación a estímulos del ambiente. Las palomas aprenden a picar en las llaves adecuadas asociadas a cualquier estímulo elegido por el experimentador para así obtener alimento. Todos los estudios de estos y otros conductistas eran realizados en el laboratorio con un número pequeño de especies modelo (humanos, ratas, palomas, perros, etc.). El conductismo clásico

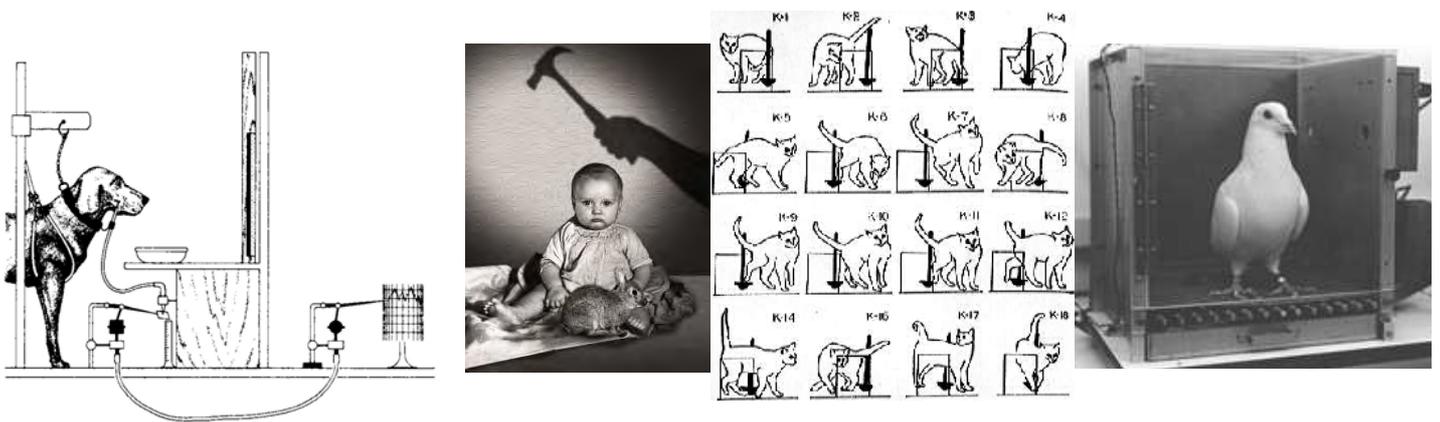


Fig. 3. Los perros salivadores de Pávlov, los bebés asustadizos de Watson, los gatos escurridizos de Thorndike o las están gobernados por procesos neurofisiológicos cerrados favorecidos por selección en el pasado. Los conductistas han manipulado estos procesos como si estuvieran abiertos a cualquier modificación, pero los límites a la presunta maleabilidad aparecen en cuanto se rasca debajo de los paradigmas concretos utilizados. Solo algunos estímulos sirven, los estímulos no son evolutivamente nuevos, las respuestas no se producen al azar y el refuerzo de respuestas es un instinto favorecido por selección.

plantea pues una flexibilidad absoluta de la conducta sin limitación innata basada en una “tabla rasa” del sistema nervioso. Skinner (1948) llegó a plantear una utopía social basada en las ideas conductistas en su obra de ficción sobre la colonia ideal Walden-2. Para el instruccionismo radical de aquellos conductistas, absolutamente todo se puede “aprender” si el ambiente es suficientemente instructivo. La “naranja mecánica” de Burgess plantea una pesadilla instruccionista parecida basada en lo que popularmente se llama “lavado de cerebro”. La idea de que se puede manipular la conducta humana a demanda es la base de ciertos sistemas de tortura antiguos y modernos en que se “enseña” a las víctimas a comportarse según los intereses de los torturadores (el conductismo utiliza en ocasiones un paradigma similar en sus experimentos con animales no humanos basado en castigos y no recompensas). Más allá de las implicaciones desagradables del conductismo, el estudio de la conducta sin neurofisiología y sin evolución ha constituido para la ciencia un callejón sin salida.

El conductismo como paradigma cerrado carente de cualquier base neurofisiológica empezó pronto a hacer aguas. En primer lugar, los modernos modelos neuronales plantean que el aprendizaje se basa en responder a discrepancias con respecto a expectativas innatas y ajustar las expectativas por refuerzos de sinapsis para que la conducta pueda anticiparse a cambios ambientales (Montague et al. 1996). Se ha propuesto que el refuerzo de sinapsis entre neuronas de percepción y de respuesta se produce por diferencias temporales entre recepción del estímulo y obtención de la respuesta mediadas por neuronas llamadas de expectativa y de discrepancia. Tanto las expectativas como los mecanismos de refuerzo de sinapsis serían innatos. Se aprende solo aquello que estos sistemas neuronales permiten. Como veremos más adelante, el debilitamiento y refuerzo de

sinapsis ocurre por procesos epigenéticos regulados por moléculas provenientes del entorno celular inmediato. El ambiente asocia nuevos estímulos sensoriales a conductas beneficiosas mediante mecanismos programados. El aprendizaje es determinado por los genes (Heschl 2002). Los genes cuya transcripción define los cambios neuronales han sido favorecidos por selección natural en los linajes ancestrales de los organismos actuales. Por otro lado, el desprecio de Pávlov por la evolución le llevó a ignorar que solo algunos estímulos pueden ser asociados a los reflejos. Watson no tuvo en cuenta que los estímulos que él creía nuevos podían no serlo tanto desde el punto de vista evolutivo. Aquellos niños entrenados a temer a objetos de su entorno probablemente poseían de forma innata programas para aborrecer objetos peligrosos encontrados en su proximidad. Thorndike no consideró que los movimientos aparentemente aleatorios de aquellos gatos encerrados formaban parte de todo un programa de movimientos practicado ya por los ancestros de estos animales durante miles de generaciones en situaciones similares. Skinner no tuvo en cuenta que el refuerzo de respuestas es un instinto acotado que solo permite ciertas asociaciones entre respuestas y estímulos. La lección de la biología evolutiva es que la novedad de situaciones que provocaban los conductistas era solo aparente ya que los sistemas nerviosos de los animales “conocen” multitud de situaciones diversas desde hace millones de años y están preparados para ajustar su respuesta a infinidad de situaciones. Lo que es novedoso para un individuo en el transcurso de su vida no lo es para su sistema nervioso que contiene el potencial innato de responder a muchas más situaciones a las que cualquier individuo se pueda enfrentar en toda su vida. La neurobiología está descubriendo el enorme potencial de respuesta de los sistemas nerviosos, potencial solo parcialmente utilizado por cada individuo durante su vida. Este potencial es el resultado de centenares de millones de años

de selección desde el origen de los sistemas nerviosos en los metazoos. En definitiva, se aprende por instinto.

La caída en desgracia del instruccionismo conductista fue el resultado de una serie de resultados inesperados para sus practicantes que se fueron acumulando durante el siglo pasado. En los experimentos con ratas de Krechevsky (1932) se intentó predisponerlas a comportamientos aleatorios en un laberinto al escoger destino. Sin embargo, las ratas elegían una dirección que utilizaban sistemáticamente, aprendiendo en vacío a contrapelo de las expectativas conductistas. Las ratas son animales territoriales y se desplazan por recorridos conocidos sin tener en cuenta lo que se espere de ellas. Los experimentos de John García y colaboradores (1955) mostraron como las ratas asociaban dos estímulos sin relación alguna preparada por los experimentadores. Cuando sufrían radiación rechazaban el agua con sacarina de los bebederos que se les ofrecía. La radiación provocaba náuseas, y las ratas parecían poseer un programa no aprendido para aborrecer cualquier sustancia consumida justo antes de sufrir náuseas. Algo que ya saben las empresas de desratización. La sorpresa de los conductistas ante estas asociaciones inesperadas en los sistemas nerviosos de las ratas nos parece ingenua con nuestros actuales conocimientos sobre programas adaptativos de conducta, pero hay que tener en cuenta el absoluto desprecio por la evolución de la conducta entre los practicantes del conductismo de la época. Los estudios de impronta de Konrad Lorenz mostraron como se podía aprender algo muy concreto de forma acotada en el tiempo y sin posibilidad de modificación posterior. No se podía desaprender lo improntado. Los experimen-

tos con macacos de Harry Harlow (1958) demostraron como las crías sin madre preferían a modelos de madre con símiles de pelaje a otros símiles cubiertos de rejilla metálica pero con un buen biberón adjunto. Ninguna recompensa podía cambiar las preferencias de estos pobres huérfanos por un sucedáneo blando de su madre. Susan Mineka y colaboradores (1980) posteriormente mostraron como los macacos eran capaces de aprender fácilmente a temer a modelos de serpiente pero difícilmente a temer a modelos de mariposa. Nada sorprendente podemos pensar hoy después del éxito de la ecología evolutiva y de la etología, pero para el conductismo estos ejemplos de cómo el aprendizaje posible está siempre condicionado, atado y constreñido por la herencia evolutiva significaron un revulsivo para sus practicantes. Pero la puntilla no provino del estudio de la conducta animal sino del estudio del lenguaje en humanos, un típico ejemplo para los conductistas de cómo se aprenden cuestiones importantes. En un célebre debate con Skinner, Noam Chomsky (1959) destrozó dialécticamente a su adversario demostrando como solo una gramática innata puede permitir la comprensión de una serie potencialmente infinita de nuevas frases. Es claramente imposible aprender a hablar de forma instruccionista. Para Chomsky, uno de los intelectuales más influyentes de nuestra época, es indudable que la capacidad de hablar no se aprende, sino que madura. Gracias a detallados procesos existentes en nuestro sistema nervioso, desarrollamos el lenguaje sin necesidad más que de escucharlo a nuestro alrededor. Es el idioma concreto lo que se incorpora a nuestra mente, no la capacidad de hablar que es innata. Chomsky, quizás por prejuicios ideológicos, no fue capaz de dar el paso de explicar nuestra capacidad para el

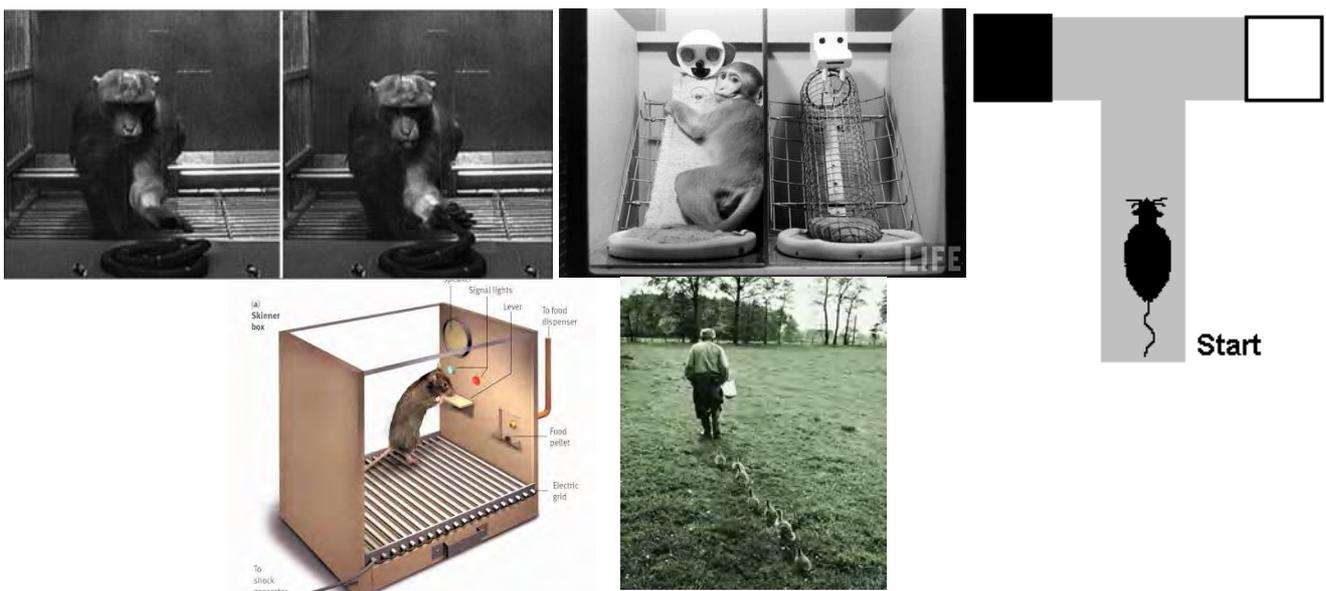


Fig. 4. Los macacos se asustan más fácilmente ante serpientes que ante mariposas sin mediar entrenamiento alguno, las crías de macaco prefieren ciertos estímulos independientemente de las recompensas conductistas, las ratas escogen una dirección en laberintos cuando no se les recompensa por ello y asocian estímulos en función de ancestrales programas de respuesta, y los patitos seguían a Konrad Lorenz al nacer aunque nadie hubiera favorecido que lo hicieran. Estos son algunos de los ejemplos que hicieron dudar del paradigma instruccionista del conductismo clásico.

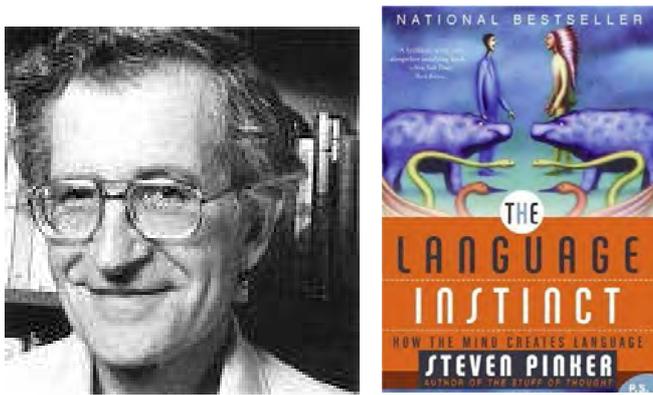


Fig. 5. La vieja idea de que enseñamos a hablar a los niños de forma instruccionista fue desechada por la lingüística moderna desde que *Noam Chomsky* (imagen izquierda) debatió con Skinner hace más de medio siglo. Sin una gramática innata, el aprendizaje de cualquier idioma es imposible. *Steven Pinker* definió el lenguaje como un instinto humano y expuso la demoleadora evidencia a favor de esta conclusión.

lenguaje, única en los animales, por ventajas favorecidas por selección en el pasado remoto. Ese paso lo dio su discípulo Steven Pinker (1994), uno de los más prolíficos y articulados defensores actuales de la visión evolucionista de la realidad humana. Para Pinker, el lenguaje humano es un instinto. Chomsky provocó la revolución cognitiva en las ciencias humanas al enfatizar la existencia de procesos innatos en nuestra mente. El filósofo Jerry Fodor (1975) retornó a la paradoja de Menón y manifestó que no podemos adquirir conceptos nuevos que no poseamos previamente. El pedagogo Jean Piaget (1950) postuló que los niños pasan por una serie de etapas cognitivas invariables y endógenas independientes del ambiente. La revolución cognitiva en la segunda mitad del siglo pasado vino a decir después de tanto exceso instruccionista que el animal humano está equipado innatamente para responder a las necesidades impuestas por el ambiente a lo largo de su vida.

Los excesos instruccionistas del conductismo y su rechazo radical del instinto provocaron también la discrepancia con los estudiosos de la conducta en ambientes naturales, lejos de los laboratorios y de las batas blancas. Los pioneros Lorenz y Tinbergen fundaron en los años treinta la etología, centrando su estudio en las conductas innatas. Siguiendo los pasos de Darwin, consideraron a los patrones de conducta como rasgos tan capaces de evolucionar por selección natural como la morfología o la fisiología, aunque la selección postulada era en ocasiones selección de especie (Tinbergen 1970, Lorenz 1971). Para los etólogos, los instintos no eran las sencillas respuestas a estímulos de la visión conductista, sino patrones de conducta con resultados beneficiosos en circunstancias adecuadas que podían ser de una enorme complejidad. Los etólogos han estudiado desde entonces numerosos ejemplos de patrones invariables de conducta que se producen sin aprendizaje posible,

en su forma definitiva desde la primera ocasión y en respuesta a estímulos característicos del ambiente. Así, el pollo recién eclosionado del cuco ejecuta la expulsión de los huevos del hospedador con los que comparte nido de forma instintiva y sorprendentemente eficaz con un programa de movimientos que sugieren un objetivo perfectamente establecido en el sistema nervioso de un embrión que acaba de salir del huevo. Los experimentos de los pioneros de la etología han demostrado convincentemente que ciertos instintos maduran en respuesta a información obtenida del ambiente.

El patente carácter intencional de la conducta tan despreciado por los conductistas, ha conducido a reinterpretaciones sobre lo que en realidad se hereda y se selecciona. Los pioneros de la psicología William James (1890) y John Dewey (1896) ya habían señalado que la respuesta continua a estímulos del ambiente conlleva la consecución de un resultado invariable que el animal parece buscar: el mismo fin se obtiene de formas diversas según las circunstancias. Ello se debe a que existe una relación de dos sentidos entre estímulos y respuestas por la que las respuestas afectan a la situación perceptiva que a su vez afecta a las respuestas. Como más tarde observaron los etólogos, los animales parecen buscar las situaciones adecuadas para estimular determinadas conductas. Para garantizar la supervivencia y reproducción exitosa, la conducta debe ajustarse continuamente mientras se ejecuta a un ambiente cambiante. Con el desarrollo por ingenieros de sistemas de control en la instrumentación y de la cibernética se obtuvo un símil técnico de cómo podría funcionar la conducta intencional. Los patrones fijos de acción de Lorenz, considerados innatos e inmutables, se componen en realidad de conductas ajustables en función de estímulos ambientales (Powers 1973). Existen niveles de referencia en el sistema nervioso que ajustan la conducta de forma continua a información proveniente del medio que a su vez se ve modificada por la conducta. Lo que se selecciona no es un patrón de acción fijo sin variación posible sino la red de sistemas de control que detectan diferencias de la situación en cada momento con respecto a una situación programada en el sistema nervioso. La conducta en cada momento posee la misma intencionalidad que los sistemas de aire acondicionado controlados por un termostato o los coches gobernados por sistemas de gasto de combustible. El termostato es innato y ha sido seleccionado en los ancestros de los animales que estudian los etólogos. El pollo de cuco responde continuamente al número y posición de los huevos en el nido en función de sus propios movimientos. Este automatismo “intencional” confiere a los instintos su eficacia en términos de supervivencia. El refuerzo de respuestas estudiado por los

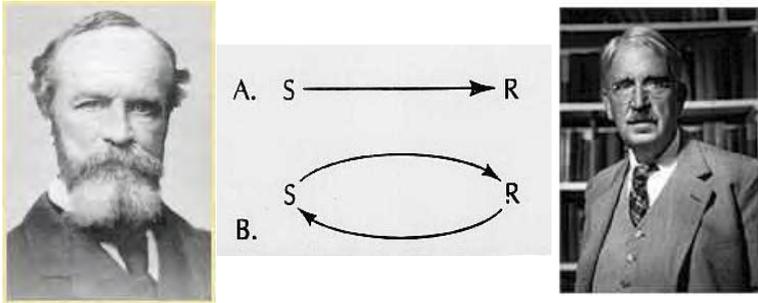


Fig. 6. Los psicólogos *William James* (izquierda) y *John Dewey* (derecha) postularon que los estímulos y las respuestas no presentan una asociación unidireccional (A) como planteaban los conductistas, sino bidireccional (B), por la que la respuesta conductual cambiaba el estímulo al modificar el ambiente en que se encontraba el animal. Esta relación bidireccional rechaza el instruccionismo al plantear que el ambiente no es independiente del animal por lo que no puede enseñar nada. Si lo que dice el maestro depende de lo que haga el alumno, ¿quién enseña a quién?

conductistas se basa también en los sistemas de control innatos que mantienen al animal en situaciones favorables a su supervivencia y reproducción. En realidad la conducta controla el ambiente y no al revés como pensaban los conductistas. Ello contradice totalmente el postulado básico del instruccionismo. Cuando un sistema de control de la conducta innata falla, solo la aparición de sistemas ligeramente diferentes y más eficaces puede solucionar el problema en la población en cuestión. Los sistemas de control no se reprograman solos por información del medio sino que hay que reprogramarlos, y el reprogramador es la selección natural.

Uno de los primeros debates de la etología fue el que se estableció entre Lorenz y Daniel Lehrman en los cincuenta sobre la conducta innata. Lehrman (1953) arguyó que los instintos son siempre afectados por la experiencia durante el desarrollo y que por tanto no muestran patrones invariables como defendía Lorenz. Para Lehrman la conducta podía ser flexible aunque hubiera sido favorecida por selección. Sería el patrón de respuestas el que se heredaría. La canalización de la conducta por el ambiente durante el desarrollo y la vida adulta no es ajena a los genes sino todo lo contrario. Los genes especifican como ocurre el desarrollo del sistema nervioso y ello a su vez especifica como se realiza la conducta. La conducta podría considerarse como una forma extrema de desarrollo continuado y transitorio en vida adulta (Ridley 2003). Las conductas innatas pueden ser tremendamente flexibles. Se hereda el patrón de respuestas, una forma de plasticidad fenotípica. Experimentos recientes con ratones en que se desactivan ciertos genes por procedimientos 'knock-out' han mostrado claras relaciones entre niveles de ciertas proteínas en las neuronas y disfunciones cognitivas (un ejemplo es Trinh et al. 2012). Ello nos lleva a la metáfora de la receta. Los genes especifican una receta para construir un sistema nervioso en que cada sencilla

regla interactúa con las demás en una secuencia temporal de causas y efectos siempre locales. La mera idea de que el sistema nervioso se construya por la combinación de secuencias ordenadas de millones de interacciones moleculares locales desborda la imaginación y provoca muchos rechazos debidos en buena medida a la incomprensión absoluta de la escala temporal durante la cual han surgido estos procesos locales con efectos globales. La selección natural no ha favorecido en nuestros ancestros la comprensión intuitiva de la dimensión temporal más allá de la duración de unas pocas generaciones. Dicha incomprensión, derivada de nuestras limitaciones cognitivas, dificulta enormemente la comprensión de la evolución biológica. O expresado de otro modo, estamos constituidos para no entender bien el proceso que nos ha producido.

La complejidad del sistema nervioso también ha estimulado el rechazo del reduccionismo científico como mejor estrategia para entender su funcionamiento. Los partidarios de las redes neuronales y de la complejidad auto-organizada proponen una aproximación holista en que se pretende entender el funcionamiento de toda la red en base a su estructura completa y sin meterse en los entresijos de cómo se producen las conexiones. Como irónicamente señala Ridley (2003), la aproximación holista se asemeja a querer formar un bosque sin plantar árboles. Ramón y Cajal fue un firme partidario del enfoque reduccionista al plantear de forma pionera que había que estudiar como se desarrollaban las neuronas individuales. Así propuso que los axones de las neuronas crecen en respuesta a gradientes químicos, algo que ha sido confirmado por la neurobiología moderna. Sabemos que muy pocos genes están implicados en la guía de axones hacia las células adecuadas y que los mismos genes determinan la formación de conexiones nerviosas en el cerebro de moscas y ratones (Tessier-Lavigne y Goodman 1996). Así por ejemplo el gen N-cadherina tiene un papel fundamental en el encuentro entre neuronas en el cerebro (Lee et al. 2001). Existen numerosos genes de cadherinas pero además estos genes experimentan un proceso de 'splicing' similar a los genes de las inmunoglobulinas. Formas alternativas de 'splicing' dan lugar a miles de variantes de un gen cuyos productos son infinidad de proteínas diferentes que permiten las conexiones adecuadas entre miles de neuronas diferentes (Schmucker et al. 2000). Además las cadherinas presentan diferentes promotores para cada exon lo que podría permitir combinar la transcripción de exones entre distintos genes. Ello determinaría una combinatoria basada en millones de diferentes versiones de las proteínas (Wu y Maniatis 1999). Esta multiplicidad de proteínas derivadas de un mismo gen ha puesto en entredicho la idea de que los genes no pueden codificar la complejidad de la conducta. Igual que

las inmunoglobulinas permiten identificar molecularmente a múltiples patógenos, las cadherinas permiten identificar a las neuronas correctas durante la formación del sistema nervioso. Como señaló Jacques Monod (1979) todo parece indicar que “la complejidad del sistema nervioso no requiere más detalles de los que el genoma puede suministrar”. La visión del genoma que preside los argumentos instruccionistas se suele caracterizar por un simplismo abrumador que la desautoriza científicamente. A ello contribuye desafortunadamente que demasiados genetistas siguen todavía anclados en lo que Ernst Mayr llamó la ‘genética de la bolsa de alubias’. El genoma no es un listín telefónico ni una sarta de chips sino un entramado molecular con una enorme riqueza de interacciones. No es de extrañar esta riqueza dado que una buena parte de la materia viva se compone de ácidos nucleicos que intervienen continuamente en reacciones químicas en cada célula. Todos los seres vivos somos en buena parte ADN y ARN (curiosamente parece que algunos observadores solo quieren ser proteínas). También nos falla la intuición para comprender la enorme complicación de las redes regulatorias entre partes del genoma por lo que intentamos atajar mediante modelos de ordenador. Pero las redes del genoma se han montado durante miles de millones de años y no de nuevas, por lo que los modelos son aproximaciones endebles a la realidad. Para cambiar algo en el genoma son necesarios cambios aleatorios en las moléculas (ADN, ARN). El genoma tiene capacidad de responder al ambiente y el ambiente solo puede afectar al fenotipo vía el genoma. La intuición de los filósofos escépticos era correcta en cuanto al aprendizaje dirigido: el conocimiento del mundo presente en el genoma no se puede modificar desde dentro a demanda del organismo.

Recientemente la literatura científica ha recibido un aluvión de propuestas sobre nuevos paradigmas y síntesis que utilizan como estandarte el adjetivo epigenético (p.ej. Danchin et al. 2011, Ledón-Rettig et al. 2012). La red se ha hecho eco de este aluvión con su propia avalancha de propuestas instruccionistas con

ribetes de vitalismo y filosofía “new-age”. El término “epigenético” es interpretado por muchos autores, no todos ellos investigadores del área, como soporte más o menos manifiesto de instruccionismo para plantear una especie de dicotomía entre genes y epigenes, interpretando la creciente información sobre estados epigenéticos heredables como evidencia de mecanismos evolutivos ajenos a la selección de genes (Jablonka y Lamb 2010). En realidad, la epigenesis es controlada en todo momento por el genoma que es algo más que los genes transcritos estudiados. Epigenesis es un término que describe a todos aquellos procesos que producen variación fenotípica no basada en la presencia de determinados alelos en el genoma sino en la transcripción o no de estos alelos. La epigenesis existe desde que existen células pues se favoreció desde el inicio transcribir los genes solo en las circunstancias adecuadas, no siempre. En toda célula viva existen genes que solo se transcriben en determinadas circunstancias. Es decir, la mayoría de los genes están silenciados en algún momento en cualquier célula. La evolución de organismos pluricelulares obviamente requirió la transcripción de genes según la función del tejido. Asimismo, la fisiología está basada en la transcripción en unos momentos de unos genes en respuesta a moléculas portadoras de información ambiental como hormonas o sustancias neurotransmisoras, transcripción que no se produce en otros momentos. Podemos decir que todo el funcionamiento de las células en cualquier organismo se fundamenta en expresión epigenética del genoma según las necesidades del organismo en cada momento, incluidas las etapas de su desarrollo. No hay nada de revolucionario en la epigenesis en contradicción con la hipérbole presente en inter-net.

En cada momento de la vida existen en cada célula genes que están siendo transcritos y genes que no lo están. Si en un individuo en ciertas circunstancias ambientales un gen está siendo transcrito en cierto tejido y en otro individuo en otras circunstancias no lo está, ello tiene que deberse a sensibilidad a ciertas moléculas de la parte promotora de dicho gen que activan o

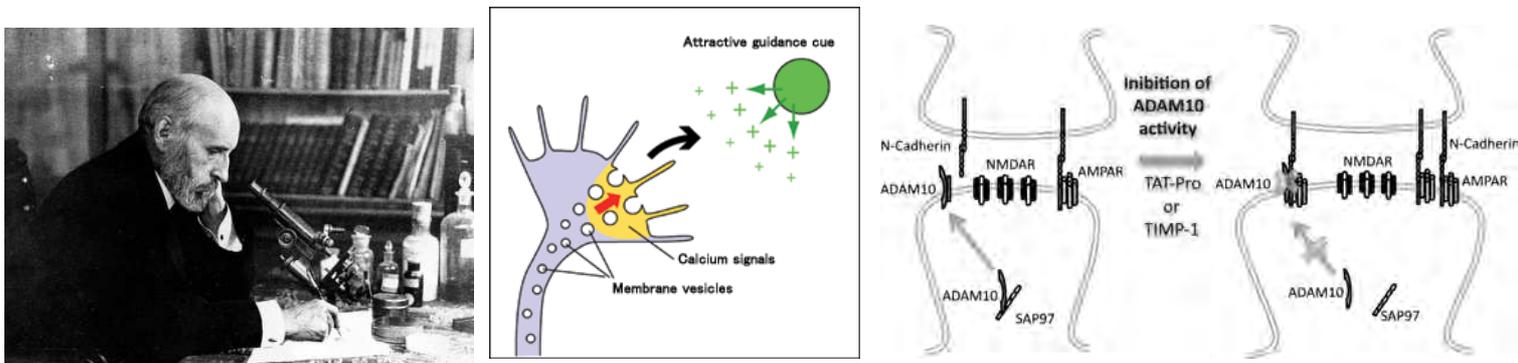
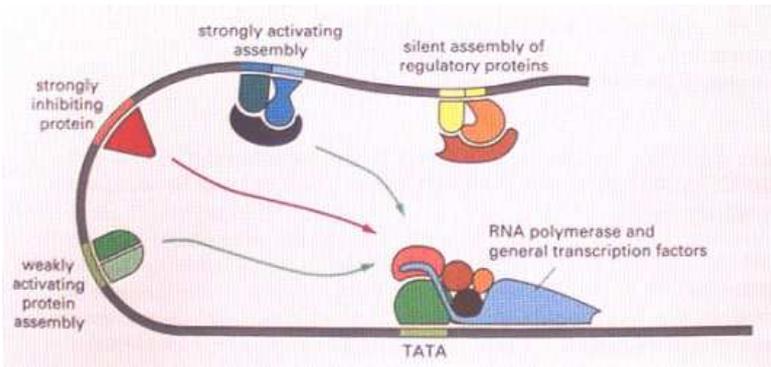


Fig. 7. Desde la propuesta inicial de Ramón y Cajal sobre la guía de axones por gradientes químicos hasta la detección de proteínas especializadas en facilitar sinápsis entre neuronas como las cadherinas, la neurofisiología reduccionista ha contribuido a desvelar como se forma el sistema nervioso sin que su complejidad suponga un problema. Como señaló Jacques Monod, la complejidad del sistema nervioso no requiere más detalles de los que el genoma puede suministrar.

reprimen su transcripción, o a receptividad por parte de los promotores de otros genes que inducen la síntesis de moléculas activadoras o represoras del gen en cuestión. En el primer caso existe variación genética, aunque ésta se dé en la parte promotora y no en la parte exónica del gen en cuestión. En el segundo caso existe variación genética en los genes involucrados en la síntesis de estas moléculas activadoras o represoras que conduce a diferencias entre individuos en niveles de los mismos. No es cierto por tanto que el ambiente active o reprima la transcripción de un gen sin involucrar para nada al resto del genoma. Por ejemplo, la metilación como mecanismo de inhibición más común se debe a la activación o desactivación del gen de la ADN-metiltransferasa. Por tanto, la variación epigenética se sustenta en variación genética en otras partes del genoma no estudiadas, muchas de las cuales son difíciles de identificar. Es aquí donde el supuesto reduccionismo de los neo-lamarckistas falla pues pasan de detectar transcripción diferencial entre individuos en un gen a achacarlo al “ambiente”,



cuando el ambiente solo puede expresarse en las células por medio de variación genética. El ambiente principal para cualquier gen es el resto del genoma. El genoma posee una lógica regulatoria tan compleja que permite explicar cualquier fenómeno epigenético sin apelar a algo que no sea transcripción de unos genes por la acción de otros. La información ambiental obtenida por los sentidos afecta al genoma de las células nerviosas por procesos de transcripción preparados al efecto. Como bien señalan Heschl (2002) y Ridley (2003) el ambiente no puede afectar a los genes sino vía la acción de otros genes. Cuando los modernos instruccionistas establezcan en detalle toda la variación genética relacionada con un gen incluyendo a sus promotores, a sus activadores y a sus represores, comprobarán, quizás para su sorpresa, que detrás de la epigenética existe variación genética y que están contemplando en sus estudios la trompa del elefante sin tener ni idea del resto del elefante genético que se encuentra detrás de la función de cualquier gen. La epigenética es pues la mera expresión de la genética y las respuestas al ambiente que estudian sus partidarios están programadas hasta el más mínimo detalle en el genoma. Así pues, cuando oigamos el término epigenética no nos dejemos llevar por los cantos de sirena de los instruccionistas y demos al término su significado real como producto de la selección natural que opera sobre los genes a través de favorecer mecanismos de transcripción diferencial.

Aunque el aprendizaje de la conducta ocurre por refuerzo diferencial de conexiones neuronales en cada generación mediante procesos programados hasta sus más ínfimos detalles y sometidos a selección previa, los modernos instruccionistas apelan al traspaso de información ambiental entre generaciones para reivindicar su aproximación (Jablonka y Lamb 1995, 2005, 2010). La hambruna en Holanda durante la última guerra mundial afectó a los fenotipos de los hijos de aquellos fetos cuyas madres la sufrieron en sus primeros meses de gestación. Las hijas de estas madres, aunque nacieron con un peso normal, parieron niños especialmente pequeños. Este efecto transgeneracional se ha adscrito a instrucción ambiental proveniente del útero materno que ha modificado la expresión génica en la vida adulta de los embriones afectados (Bateson 2001). Esta supuesta herencia de caracteres adquiridos se basa realmente en modificación duradera del fenotipo en fase temprana para adaptarlo a las circunstancias ambientales existentes. Si el ambiente en que se desarrolló el feto en el útero fue pobre en recursos, existen altas probabilidades de que el ambiente experimentado en vida adulta sea igualmente pobre y requiera una reasignación de recursos de la reproducción a la mera supervivencia. Obviamente, la evolución no puede prever que después de una hambruna,

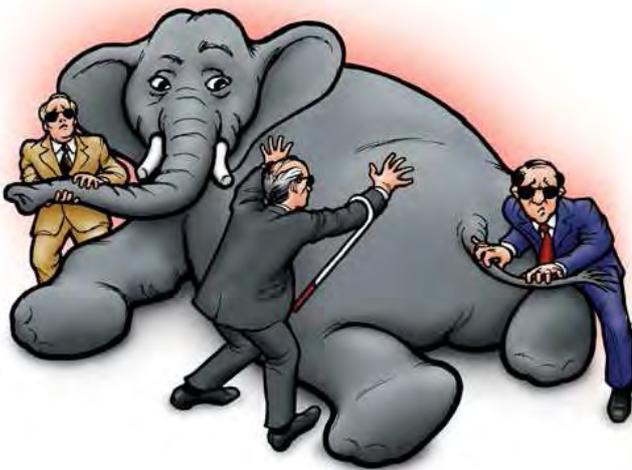


Fig. 8. Para que cambie evolutivamente un proceso epigenético debe cambiar por mutación o bien la parte promotora del gen a la que se asocian los factores de transcripción, normalmente proteínas, o bien los genes de estos factores. Existe variabilidad genética en las poblaciones en relación con estos procesos de transcripción de genes, y esta variación está siendo permanentemente favorecida o rechazada por selección. La epigenética es una expresión de la genética subyacente. Los instruccionistas estudian procesos epigenéticos aislados sin contemplar el conjunto de genes involucrados en cualquier proceso epigenético como en la parábola de los ciegos y el elefante.

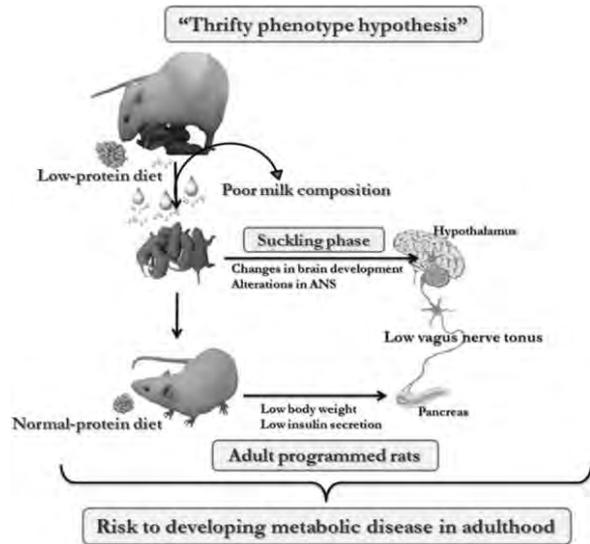


Fig. 9. Las langostas que cambian el fenotipo de su descendencia en condiciones de hacinamiento para que sean migratorias, las hembras de ratón que en condiciones adversas legan a su descendencia una menor propensión maternal o las ratas que programan a sus crías para que ahorren recursos son ejemplos de efectos maternos derivados de mecanismos programados de regulación génica. Los mecanismos están latentes en todos los individuos y solo se activan cuando es necesario. Los genes “saben” como responder cuando los estímulos del ambiente inducen cambios en su fisiología. Las situaciones no son nuevas para el genoma aunque puedan serlo para el individuo concreto. Confundir novedad para el individuo con novedad evolutiva es un error muy extendido.

las condiciones de alimentación se modifiquen drásticamente en un plazo inferior a una generación. Este sistema de respuesta es probablemente antiquísimo y se seleccionó en ambientes con determinados ciclos de variación ambiental. Otro ejemplo clásico es el de como los ratones que no han sido lamidos por sus madres como crías son más reacios a cuidar de su propia prole como adultos (Meaney 2001). En este caso también la información ambiental procede del útero de la madre y no del lamido en sí como se ha demostrado con transplantes de embriones de líneas endogámicas de ratones (Champagne et al. 2001). La cadena causal va de condiciones adversas para la madre a su sistema nervioso que afecta a las células del útero y promueve que se transcriban genes de un inhibidor, inhibidor que pasa al sistema nervioso del embrión e induce en el mismo el bloqueo de la transcripción del gen del receptor de la oxitocina, lo que produce menos cantidad de receptores en las neuronas del embrión, lo que en fase adulta determina una menor sensibilidad a la oxitocina en las neuronas implicadas en cuidados parentales, lo que conlleva un peor cuidado parental por parte de las hijas. Los genes de las madres se expresan en el útero afectando a la receptividad a estímulos del sistema nervioso de sus hijas. Para que cambie algo en este sistema de control de la conducta tiene que mutar la parte promotora del gen receptor o el propio gen del inhibidor. Esta vía indirecta de traspaso de información genética permite ajustar mejor el comportamiento a circunstancias cambiantes y está controlada en todo momento por el genoma. Son las respuestas epigenéticas las que han sido favorecidas por selección natural cuando los efectos duraderos sobre el fenotipo han redundado en un mayor

éxito reproductivo en el adulto. Los ciclos de los roedores y las plagas de langosta se basan igualmente en respuestas programadas que funcionan siempre igual cuando se producen condiciones de hacinamiento. Para los individuos, las hambrunas, las situaciones adversas o las condiciones de hacinamiento pueden ser nuevas, pero ello no significa que lo sean para sus sistemas nerviosos o para sus genomas. Innumerables generaciones de humanos, ratones, topillos y langostas han experimentado ya estas condiciones que solo activan mecanismos ancestrales programados. Son los genes a lo largo de cuantiosas generaciones los que han aprendido, no los fetos humanos, las crías de ratones o las langostas migratorias.

Resumiendo, es imposible aprender de la naturaleza de forma dirigida y a demanda del organismo como postula el instruccionismo. En primer lugar, el ambiente principal para cualquier gen es el resto del genoma. Además, la existencia de fuertes correlaciones genotipo-ambiente en muchos estudios de genética del comportamiento (Plomin et al. 2013) ha mostrado que el ambiente no es independiente de los genes pues los genes seleccionan por medio de la conducta el ambiente en que mejor se replican. Además como vimos antes cuando tratábamos la intencionalidad, la conducta adaptativa consiste en modificar el ambiente en cada momento para no tener que aprender. Por otro lado, la reciente teoría evolutiva sobre construcción de nichos (Odling-Smee et al. 2003) propone que muchos animales construyen sus propios nichos ecológicos para no tener que aprender del ambiente. Hemos señalado también que la variabilidad ambiental que aparentemente requiere aprendizaje, aunque nueva para el individuo, no es nueva para su

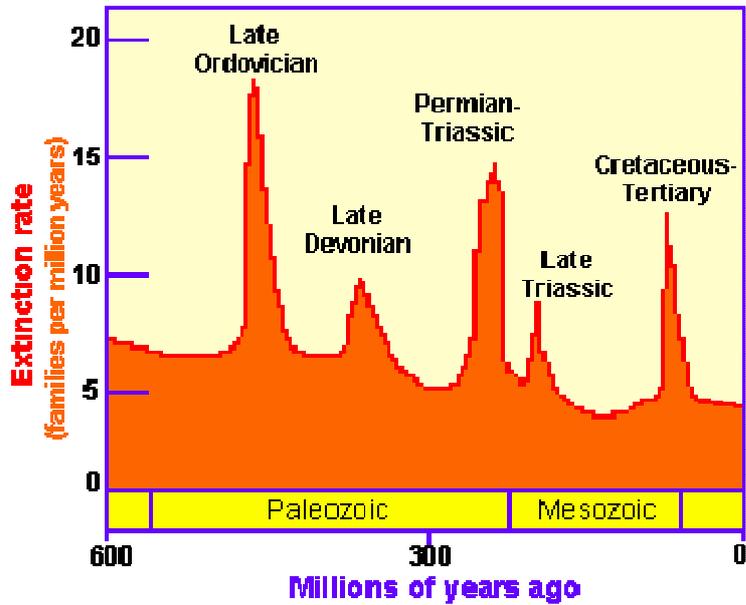


Fig. 10. La extinción, nunca contemplada por Lamarck como posibilidad real, es sin embargo la prueba más contundente de la imposibilidad de aprender del ambiente a demanda. Cuando el ambiente cambia drásticamente, solo se salvan los linajes cuyos genomas presentan capacidad de respuesta debido a procesos de selección en el pasado. La madre naturaleza ni es sabia ni enseña nada a los pobres organismos cuyos linajes se extinguen sin remedio.

genoma. Existen probablemente infinidad de capacidades de respuesta a cambios ambientales que apenas son puestos a prueba pero que están latentes en los sistemas nerviosos, debido a selección previa. La novedad para el individuo es solo aparente y no es novedad evolutiva. El “aprendizaje” que estudiamos solo pone a prueba capacidades innatas seleccionadas en un pasado de inmensa duración. Cuando ocurre algo realmente nuevo en el ambiente, o existen genes adecuados para responder o el linaje se extingue. La frecuente extinción de linajes enteros durante la historia de este planeta es la expresión más clara de la imposibilidad de aprender a demanda.

Hay que mencionar también que la impresión de que existe instrucción en la naturaleza es falaz y se sustenta en un serio problema epistemológico humano. Solo estudiamos los mecanismos epigenéticos que han superado las pruebas de la selección natural, no los innumerables mecanismos que en el transcurso de miles de generaciones resultaron en fracasos reproductivos. Todos los organismos existentes hoy día procedemos de una ininterrumpida cadena de éxitos reproductivos desde el origen de la vida, por lo que solo tenemos una visión tremendamente limitada y parcial del proceso evolutivo. Aunque es difícil intuir que los ancestros de nuestros genomas anteceden al Cámbrico, es indudable que no puede haber habido ninguna interrupción en la transmisión de genes desde las primeras células hasta nosotros. Los innumerables fenotipos sin descendencia del pasado no existen para contarnos como eran sus procesos epigenéticos. Un programa apasionante para los instruccionistas actuales sería el de

explorar los efectos fenotípicos de sutiles variaciones en procesos de determinación epigenética del fenotipo. Quizás podrían obtener un fugaz pantallazo del funcionamiento de la selección natural y descartar de una vez el recurso a atajos explicativos que pretenden saltarse los inevitables pasos de variación aleatoria y retención selectiva, los únicos pasos que ha habido en la evolución de la conducta. Actualmente existen seguro innumerables ejemplos de procesos epigenéticos que están conduciendo a fracasos reproductivos o mortalidad temprana, algunos presentes en los millones de embriones y fetos que son eliminados antes de que puedan ser observados. Que no los estudiemos o no los podamos estudiar no quiere decir que no existan.

Así pues, la naturaleza como conjunto de procesos físico-químicos sin intención alguna, ni es sabia ni enseña nada a las criaturas. Pobre epistemología, esencialismo tipológico, incapacidad humana de entender intuitivamente el tiempo evolutivo y la complejidad de procesos históricos, falsas analogías y estudio sesgado de lo que funciona en biología han caracterizado desde Lamarck el recurso al instruccionismo como alternativa a la selección natural. Esta alternativa no es tal a pesar de la utilización falaz del término “epigenética” en sentido instruccionista. El instruccionismo presupone lo que tiene que explicar. Podemos extraer las siguientes conclusiones de este breve repaso de los errores del instruccionismo científico en el estudio de la conducta:

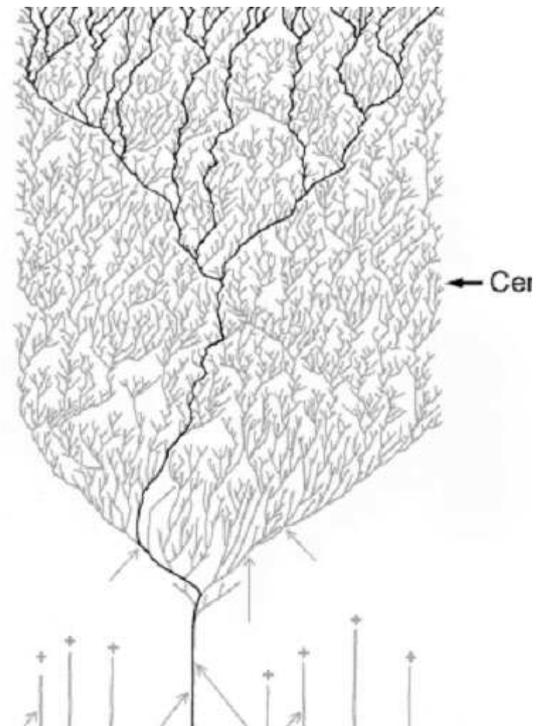


Fig. 11. En toda población existen numerosos individuos que no logran sus genes a las siguientes generaciones por problemas durante el desarrollo o la vida adulta (ver ramitas que se interrumpen). Muchos de estos problemas que impiden la reproducción exitosa pueden deberse a procesos epigenéticos que resultan en fenotipos ineficaces en alguna etapa de la vida. Son esos procesos epigenéticos los que hay que estudiar para detectar como la epigenética es producto de la selección natural.

- 1) El instruccionismo es incapaz de explicar como los organismos “saben” lo que tienen que aprender y por tanto incapaz de explicar la flexibilidad de la conducta y el aprendizaje;
- 2) La etología y psicología han identificado las limitaciones del aprendizaje siempre basado en capacidades innatas;
- 3) La “novedad” para el individuo no significa novedad evolutiva, por lo que el aprendizaje es casi siempre solo aparente;
- 4) La epigenética confirma la importancia del genoma al explicar como el ambiente solo afecta al fenotipo vía la acción de muchos genes;
- 5) La conducta se basa en transcripción diferencial de genes igual que la fisiología y el desarrollo, y dicha transcripción es ejecutada por los productos de otros genes;
- 6) Las redes de interacciones moleculares que sustentan la conducta se han constituido a lo largo de millones de años de cambios evolutivos y son producto de selección natural sobre sus efectos fenotípicos;
- 7) Hay que estudiar también los procesos epigenéticos que dan lugar a fenotipos fracasados, incluyendo la fase embrionaria;
- 8) No hay que recurrir en ciencia a atajos explicativos por muy tentadores que sean.

Por último podríamos preguntarnos a qué se debe el permanente anhelo de instruccionismo que late detrás de la utilización errónea de la epigenética y que ha llevado en el pasado a la popularidad del lisenkoísmo en genética o del conductismo en psicología. Muchos pensamos que la fuente de este anhelo insaciable de que la naturaleza nos enseñe es que promete que mediante cambios ambientales podemos cambiar el curso de la evolución y nuestra naturaleza a nuestro antojo. Podríamos preguntar a qué antojo se refieren, dada la presumible disparidad de criterios en nuestras sociedades sobre modificaciones ambientales deseables. Los que se nutren de esta pasión por ser enseñados por la madre naturaleza deberían además plantearse cuáles habrían sido y serían las lecciones posibles a extraer de los terribles ambientes del pasado y del presente. Afortunadamente no existe evidencia alguna de que la dureza del ambiente en que ha vivido y vive la mayor parte de la humanidad haya modificado significativamente los patrones de conducta heredados de nuestros ancestros, ni para “bien” ni para “mal”. Terminó con las palabras de Noam Chomsky (1973), uno de los principales enterradores del instruccionismo moderno: “Los hechos dejan suponer y mi confianza en la humanidad me permite esperar que existan estructuras intelectuales innatas. Si no existieran, la gente serían solo organismos moldeables y accidentales, y serían objetos apropiados para un control de su conducta desde

fuera...Espero, naturalmente, que emerja que existen estructuras internas que determinan las necesidades humanas y la satisfacción de dichas necesidades”.

REFERENCIAS

- Aristóteles. Editado 1990. *Historia de los Animales*. Akal Clásica, Madrid.
- Bateson, P. 2001. Fetal experience and good adult design. *Int. J. Epidemiol.* 30: 928-934.
- Champagne, F., Diorio, J., Sharma, S. y Meaney, M.J. 2001 Naturally occurring variations in maternal behavior in the rat are associated with differences in estrogen-inducible central oxytocin receptors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98: 12736-12741.
- Chomsky, N. 1959. A review of B.F. Skinner “Verbal Behaviour”. *Language* 35: 26-58.
- Chomsky, N. 1973. Linguistics and Politics. En: *Language and Mind*. Harcourt, Brace & World, New York.
- Cziko, G. 1995. *Without Miracles: Universal Selection Theory and the Second Darwinian Revolution*. MIT Press, Cambridge-MA.
- Danchin, E., Charmantier, A., Champagne, F.A., Mesoudi, A., Pujol, B. y Blanchet, S. 2011. Beyond DNA: integrating inclusive inheritance into an extended theory of evolution. *Nature Rev. Genetics* 12: 475-486.
- Darwin, C.R. 1868. *The Variation of Animals and Plants under Domestication*. John Murray, Londres.
- Darwin, C.R. 1872. *The Expresión of the Emotions in Man and Animals*. John Murray, Londres.
- Dennett, D.C. 1999. *La Peligrosa Idea de Darwin: Evolución y Significados de la Vida*. Galaxia Gutenberg, Barcelona.
- Dewey, J. 1896. The reflex arc concept in psychology. *Psychol. Rev.* 3: 357-370.
- Fodor, J.A. 1975. *The Language of Thought*. Crowell, Nueva York.
- García, J., Kimeldorf, D.J. y Koelling, R.A. 1955. A conditioned aversion towards sacharin resulting from exposure to gamma radiation. *Science* 122: 157-158.
- Harlow, H. 1958. The nature of love. *Amer. Psychol.* 13: 673-685.
- Heschl, A. 2002. *The Intelligent Genome*. Springer, Berlin.
- Hume, D. 1777/2007. *An Enquiry concerning Human Understanding*. Oxford Univ. Press.
- Jablonka, E. y Lamb, M. 1995. *Epigenetic Inheritance and Evolution: The Lamarckian Dimension*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Jablonka, E. y Lamb, M.J. 2005. *Evolution on Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. The MIT Press, Cambridge MA.

- Jablónka, E. y Lamb, M.J. 2010. Trans-generational epigenetic inheritance. Pp. 137-174. *En*: Pigliucci, M. y Müller, G.B. (eds.) *Evolution: the Extended Synthesis*. MIT Press, Cambridge MA.
- James, W. 1890. *The Principles of Psychology*. Henry Holt.
- Kant, I. 1781/1960. *Crítica de la Razón Pura*. Losada, Buenos Aires.
- Krechevsky, I. 1932. "Hypothesis" in rats. *Psychol. Rev.* 39: 516-532.
- Lamarck, J.B. 1809. *Philosophie Zoologique*. Traducido al castellano y reeditado como "Filosofía Zoológica" 1986. Alta Fulla, Barcelona.
- Ledón-Rettig, C.C., Richards, C.L. y Martin, L.B. 2012. Epigenetics for behavioral ecologists. *Behav. Ecol.* 24: 311-324.
- Lee, C.H., Herman, T., Clandinin, T.R., Lee, R. y Zipursky, S.L. 2001. N-cadherin regulates target specificity in the Drosophila visual system. *Neuron* 30: 437-450.
- Lehrman, D.S. 1953. A critique of Konrad Lorenz's theory of instinctive behavior. *Q. Rev. Biol.* 28: 337-33.
- Liebenberg, L. 2013. *The Origin of Science*. New Africa books – David Philip imprint.
- Locke, J. 1689/1996. *An Essay Concerning Human Understanding*. Hackett, Indianapolis.
- Lorenz, K. 1971. *Evolución y Modificación de la Conducta*. Siglo XXI, México.
- Meaney, M.J. 2001. Maternal care, gene expression and the transmission of individual differences in stress reactivity across generations. *Annu. Rev. Neurosci.* 24: 1161-1182.
- Mineka, S., Keir, R. y Price, V. 1980. Fear of snakes in wild- and laboratory-reared rhesus monkeys *Macaca mulatta*. *Learn. & Behav.* 8: 653-663.
- Monod, J. 1979. Théories de langage, théories du apprentissage. Pp. 291. *En*: Piatelli-Palmarini, M. (ed.). *Le Débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky*. Éd. du Seuil, Paris.
- Montague, P.R., P. Dayan y T.J. Sejnowski 1996. A framework for mesencephalic dopamine systems based on predictive Hebbian learning. *J. Neurosci.* 16: 1936-47.
- Odling-Smee, F.J., Laland, K.N. y Feldman, M.W. 2003. *Niche Construction. The Neglected Process in Evolution*. Princeton Univ. Press, Princeton NJ.
- Pavlov, I.P. 1927. *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Trad. Y ed- G.V. Anrep. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Piaget, J. 1950/99. *The Construction of Reality in the Child*. Routledge, Londres.
- Pinker, S. 1994/95. *El Instinto del Lenguaje*. Alianza Ed., Madrid.
- Pinker, S. 2002/03. *La Tabla Rasa. La Negación Moderna de la Naturaleza Humana*. Paidós, Barcelona.
- Platón. *Dialogos*. S.L.U. Espasa Libros, Madrid.
- Plomin, R., DeFries, J.C., Knopik, V.S. y Neiderhisser, J.M. 2013. *Behavioral Genetics*. Worth Publ., Nueva York.
- Plotkin, H. 1994. *Darwin Machines and the Nature of Knowledge*. Allen Lane, Londres.
- Popper, K.R. 1972. *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford Univ. Press.
- Powers, W.T. 1973. *Behavior: The Control of Perception*. Aldine de Gruyter, Nueva York.
- Pross, A. 2012. *What is Life? How Chemistry becomes Biology*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Ridley, M. 2003. *Nature via Nurture: Genes, Experience and What Makes Us Human*. Harper Collins, Londres.
- Romanes, G.J. 1882. *Animal Intelligence*. Kegan Paul, Trench & Co., Londres.
- Schmucker, D., Clemens, J.C., Shu, H., Worby, C.A., Xiao, J., Muda, M., Dixon, J.E. y Zipursky, S.L. 2000. *Drosophila Dscam* is an axon guidance receptor exhibiting extraordinary molecular diversity. *Cell* 101: 671-684.
- Skinner, B.F. 1948. *Walden Two*. Prentice Hall.
- Skinner, B.F. 1974. *About Behaviorism*. Knopf, Nueva York.
- Tessier-Lavigne, M. y Goodman, C.S. 1996. The molecular biology of axon guidance. *Science* 274: 1123-1133.
- Thorndike, E.L. 1911. *Animal Intelligence*. MacMillan, Nueva York.
- Tinbergen, N. 1970. *El Estudio del Instinto*. Siglo XXI, México.
- Trinh, M.A., Kaphazan, H., Wek, R.C., Pierr, P., Cavener, D.R. y Klann, E. 2012. Brain-specific disruption of the eIF2 α Kinase PERK decreases ATF4 expression and impairs behavioral flexibility. *Cell Rep.* 1: 676-688
- Watson, J.B. 1924. *Behaviorism*. WW Norton, Nueva York.
- Wu, Q. y Maniatis, T. 1999. A striking organization of a large family of human neural cadherin-like cell adhesion genes. *Cell* 97: 779-790.

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 190 trabajos científicos en revistas internacionales sobre estos temas, además de varios artículos divulgativos, capítulos de libro, y dos libros.

LA OPINIÓN DEL EVOLUCIONISTA

La inteligencia de los genes

por **Borja Cardelús**

Presidente del Centro de Cultura Iberoamericana, Viriato, 58. 28010 Madrid

E-mail: info@borjacardelus.com

Cuando surge un individuo provisto de una variedad fisiológica que le hace ser más eficiente que los demás en el medio que habita, se alimenta mejor, deja más descendientes y transmite esa ventaja biológica a sus herederos, gracias a lo cual tiene lugar la evolución. Es el principio de la selección natural que descubrió Darwin, el motor impulsor de la evolución de las especies.

Pero la realidad diaria demuestra que las cosas no son así. Que la selección natural, aun actuando siempre y favoreciendo la procreación de los individuos sobresalientes, no está empujando constantemente a la evolución. Es más, pocas veces lo hace. Y aunque de manera continua se producen variaciones ventajosas entre los seres vivos, estas ventajas no prosperan, no se extienden a los demás.

Y es que las especies tienden a la estabilidad, y no a la evolución. En toda nueva generación de seres vivos, sean animales o plantas, hay individuos que se destacan sobre los demás. Más aún, algunos descuellan de modo excepcional: siempre habrá algún ejemplar extraordinariamente dotado por su tamaño, su fuerza, su altura, su rapidez o su inteligencia. Pero no "tiran" de la especie, no la impulsan en un sentido evolucionista, sino que los descendientes de ellos retornan a los niveles modestos de antes. Los hijos de una jirafa más alta, de un guepardo mucho más rápido o de los grandes genios humanos en la ciencia, el arte, la literatura o los deportes, como todo el mundo sabe no suelen heredar las cualidades de sus mayores. De alguna manera, tras el paso del genio, del ejemplar excepcional, todo vuelve a su ser, y de ahí que las especies se mantengan por lo general estables en el tiempo. Es como si la evolución apuntada se truncara una y otra vez.

El propio Darwin ya observó que había especies que llevaban miles de años sin evolucionar, de la misma manera que las hienas ya convivían con los australopitecos hace varios millones de años, y las medusas

no han cambiado desde la noche de los tiempos. ¿Y acaso en todo ese tiempo no habrán nacido individuos con variedades anatómicas que suponen una ventaja adaptativa y podrían haber empujado a la especie en un sentido evolucionista? Desde luego que sí, y es seguro que entre las hienas habrán surgido en los últimos cuatro millones de años ejemplares formidables, muy superiores a sus congéneres, y desde luego que también ellos habrán gozado de la preferencia a la hora de procrear. Así que la selección natural trabaja siempre, pero no siempre hace evolucionar a las especies.

Y eso se debe a que a la naturaleza, el ecosistema, el medio ambiente o como quiera llamársele, le produce aversión cualquier clase de cambio. Lo repudia por principio, porque en general el cambio es catastrófico. Un ecosistema es como una gran despensa plagada de rincones con alimentos, o nichos ecológicos. Cada especie explota uno de esos nichos, pero no puede saquear un rincón ajeno de la despensa, porque eso provoca un desajustado ecológico. Cualquier desviación, por exceso o por defecto, tendrá repercusiones sobre el resto de los seres vivos del sistema. En una sabana, si los guepardos evolucionaran hacia individuos más rápidos, como están bien alimentados tendrían más descendencia y pronto acabarían con sus presas habituales, los herbívoros de mediano tamaño, y tendrían que abalanzarse sobre las presas de los demás, con el consiguiente perjuicio para los leones, los leopardos y el resto de los depredadores. Y si se volvieran más lentos, las poblaciones de antílopes explosionarían, perjudicando la estabilidad herbácea de la sabana, de la que viven tantos herbívoros. Y lo mismo podría decirse del famoso ejemplo de las jirafas y las acacias. Jirafas que evolucionan hacia cuellos más largos significa que de repente las acacias reciben el asalto de unas jirafas más altas y grandes, que alcanzan sus copas y las defolian con mucha más eficacia que antes, incluso poniendo en riesgo su actividad fotosintética.

¿Qué harán? Algo tendrá que pasar, porque de otro modo las acacias degenerarían, y entre otras consecuencias arrastrarían a la perdición a la población de jirafas, que se quedarían sin su despensa.

Algo tiene pues que hacer la Naturaleza para corregir tales desequilibrios, el de las jirafas y el de los guepardos, y una posibilidad sería que las acacias aumentaran su altura y los antílopes su velocidad, en la consabida "carrera de armamentos" desatada entre los depredadores y sus presas. Esto ciertamente que ha ocurrido y ocurre, aunque Darwin ya advertía que esa carrera tiene un límite, poniendo el ejemplo del guepardo y el antílope, que si agudizan su velocidad corren el riesgo de quebrarse las patas. Valga el ejemplo para el guepardo y las gacelas, pero no vemos inconveniente técnico a que el pequeño dik dik de la sabana se convirtiera por evolución en un gran antílope, el ocelote adquiriera el tamaño de un jaguar o el lagarto el de un dinosaurio.

La naturaleza recurre a la carrera de armamentos, pero pocas veces, porque en otro caso, si la carrera se generaliza, el equilibrio del sistema pronto quedaría dislocado y colapsaría. Sí posee en cambio dos mecanismos de control más sutiles: el control de las poblaciones de una especie y el control de los individuos dentro de cada especie. Mediante el primero, obliga a que una población que explote retorne pronto a sus números habituales. En la isla de Ellesmere los lobos árticos y los bueyes almizcleros conviven en equilibrio desde la noche de los tiempos. Pero en ocasiones una de ambas poblaciones explota biológicamente. Si es la de bueyes, ese año los lobos comen mejor, nacen más lobos y sobreviven todas sus camadas. El año siguiente hay más lobos y presionan con exceso sobre los bueyes, que disminuyen, y al hacerlo someten a la hambruna a los lobos, que bajan su número, restableciéndose el equilibrio.

Mediante el segundo instrumento de control, la naturaleza establece que los individuos de cada especie posean un patrón anatómico determinado, el que les sirve para especializarse en la explotación de su respectivo nicho ecológico. Ese patrón es flexible, pero relativamente, porque hay límites superior e inferior que no se pueden sobrepasar. Si los individuos de la especie se excedieran por arriba se harían más eficientes explotando su nicho y provocarían un desequilibrio ecológico en el conjunto del ecosistema. Y si por debajo se tornarían menos eficientes, con el mismo resultado desequilibrador, porque sobrarían recursos en algún punto, y el sistema está diseñado

para que todos los rincones de la gran despensa común sean ordenadamente explotados, cada uno por su específico comensal. De modo que la naturaleza marca a cada especie unos parámetros anatómicos que no puede rebasar. Permite que individuos aislados destaquen sobre los demás en cada generación, pero no tolera que transmitan sus caracteres superiores. Una y otra vez la especie retorna a sus respectivas barreras, a las fronteras de su techo y su suelo, porque lo contrario ocasionaría un desajuste ecológico. Algunos individuos pueden "escapárseles de las manos", pero las especies no.

Y todo esto sin que la selección natural descanse un solo momento, favoreciendo mediante la selección sexual a los individuos mejor dotados.

Pero lo hace no para que la especie evolucione, sino para que se mantenga en su rango anatómico alto, para que la especie no descienda al peligroso umbral de la parte de abajo, al límite inferior. Algo parecido a lo que hacen las grandes empresas multinacionales, que saben que hay que mantenerse arriba para no entrar en la espiral de la decadencia, que puede conducir a la liquidación.

Así pues la selección natural actúa siempre, pero no siempre es evolucionista, aunque surjan individuos superiores continuamente. Para que una especie evolucione hace falta algo más. Hace falta que lo determine y lo autorice el medio ambiente, la naturaleza, el sistema.

He ahí la clave: la presión ejercida por el medio ambiente. Y esta puede ser pausada o drástica. Supongamos dos lanchas en el mar, exactas y de la misma potencia. Si las ponemos a navegar en paralelo con piloto automático, al principio discurrirán juntas, pero no tardarán en divergir. Un pequeño rizo del agua, el sople de la brisa, todo contribuirá a que las lanchas comiencen a separarse lentamente, y con el tiempo llegarán a perderse de vista una de la otra.

Esta sería la evolución gradual o de pequeños pasos, la defendida por Darwin. Individuos de una misma especie que por alguna causa -una barrera natural, el traslado de algunos individuos de una isla a otra- se separan y comienzan a vivir en lugares distintos, adaptándose a ellos hasta constituir especies distintas. Esto es lo que vio Darwin en la Naturaleza, en particular con los pinzones de las Galápagos, extrayendo de la enseñanza nada menos que la teoría de la evolución a través de la selección natural.

Pero volvamos a nuestras lanchas. Es posible, probable más bien, que ambas se

separen no de una forma gradual, sino brusca. Un golpe de mar, una ola súbita, hará que las dos barcas tomen rumbos distintos, opuestos incluso, y que la divergencia no sea lenta, sino rápida y radical.

Darwin se preguntaba por qué aparecían tan pocas especies intermedias en el proceso de la evolución. Esta parecía caminar a saltos, y no de una manera gradual, aunque lo achacaba en parte a la insuficiencia de registros fósiles. Aunque Eldridge y Stephen Jay Gould se percataron de que en realidad la evolución no era gradual y lineal, sino intermitente. Según su teoría del equilibrio puntuado, las especies permanecían estables durante largos períodos, y de pronto evolucionaban.

Y esto es precisamente lo que ocurre. En un momento dado, la naturaleza permite o impone la evolución, porque ella misma cambia, y al cambiar modifica el marco anatómico establecido para cada especie, sus límites fisiológicos superior e inferior.

¿Y de qué manera se transforma la naturaleza? Unas veces de modo gradual, paso a paso, y ese es el modelo que Darwin seguía sosteniendo, aunque reconocía la lentitud de la evolución por selección natural. Pero ocurre que el medio ambiente pocas veces cambia así, lentamente, como cuando aflora una barrera natural entre dos áreas semejantes. Es más corriente que lo haga de modo brusco, como en el caso de las lanchas segundas. Y factores de cambio ambiental hay muchos: una sequía prolongada, fenómenos volcánicos, terremotos, grandes incendios... Y en el plano biológico epidemias que llevan gran mortandad a una especie, crecimiento descontrolado de una población en otra, cambios en la base alimenticia del ecosistema o, un supuesto muy común, la repentina intrusión de una especie forastera que viene a trastocar el delicado equilibrio biológico vigente.

Todas estas alteraciones ambientales son frecuentes a lo largo del tiempo y altamente traumáticas, y lo fundamental para nuestro estudio es que inducen transformaciones no menos radicales en los seres vivos. Porque les obligan a evolucionar.

En la selección natural darwinista, parece que es el individuo aventajado el que toma la iniciativa, el protagonista de la evolución: un pinzón que modifica su pico y arrastra consigo a sus descendientes; una polilla de abedul que se vuelve oscura con el mismo resultado de que las posteriores generaciones también ennegrecen. Y el medio ambiente parece mostrarse como un actor secundario en el proceso, el mero receptor final de los cambios.

Pero no es así. Examinemos los dos casos con más detenimiento, porque ambos tienen algo que los diferencia y algo en común. Los diferencia que en los pinzones encontramos un ritmo lento de evolución; y rápido, fulgurante más bien, en el supuesto de las mariposas. Pero lo más importante para nosotros es lo que tienen en común: ambas transformaciones son inducidas por una presión ambiental. Esto es esencial.

En los pinzones, fueron las semillas, de textura distinta en cada isla, las que obligaron a adaptarse a los pinzones; y en las polillas, primero fue la corteza oscura de los abedules, y más tarde el oscurecimiento de las polillas. El medio ambiente, como protagonista del proceso; la selección natural, como mera herramienta suya. No han sido los individuos variantes, aquellos que tienen ventajas sobre los demás, los que han arrastrado al resto de la especie, sino que ha sido la naturaleza, el medio ambiente, quien los ha forzado y ha impulsado la evolución, aunque para hacerlo haya hecho uso de la selección natural. Esta no es, pues, el origen ni la causa. El origen es, siempre y en todos los casos, el medio ambiente. Y la selección natural, un mero instrumento suyo. Y esto es al fin y al cabo lo que ya vislumbró Lamarck y matizó Baldwin, en el sentido de que las modificaciones anatómicas de los seres vivos se vuelven permanentes si persisten las condiciones ambientales que las originaron.

La selección natural, ni interviene en todos los casos ni es una herramienta evolucionista muy fiable, como vamos a ver. En efecto, en general es un mecanismo demasiado lento cuando irrumpe la presión ambiental, y la realidad demuestra que existe otro mecanismo evolucionista más contundente. Cuando los españoles llevaron a las planicies de Texas las s mostrencas de las marismas del Guadalquivir, cercanas a Sevilla, se encontraron en un nuevo territorio poblado de lobos, pumas y coyotes, contra el que no estaban preparadas. Y lo que hicieron fue evolucionar en el sentido de extender sus cuernos, hasta convertirse en las *longhorn* texanas (proceso que más tarde agudizaron los criadores norteamericanos). Pero el proceso fue rapidísimo, y en el curso de muy pocas generaciones las mostrencas ya habían adquirido esa cornamenta. Si hubieran dependido solo de la selección natural, hubieran sido devoradas.

¿Y qué decir de las polillas del abedul? Eran blancas con motas negras, y se camuflaban sobre la corteza de los árboles de la Inglaterra rural. Pero el hollín de las fábricas ennegreció los árboles, y de pronto empezaron a aparecer polillas oscuras, un



Fig. 1. Vaca mostrenca de las marismas del Guadalquivir (izquierda) y *longhorn* texana (derecha). Las vacas mostrencas, al ser llevadas por los españoles a las planicies tejanas, pobladas de lobos, desarrollaron espontáneamente en muy poco tiempo una enorme cornamenta con fines defensivos. De haberse confiado en el lento mecanismo selector natural darwinista, generación a generación, las vacas no hubieran podido sobrevivir a las depredaciones de los lobos. La salvación de la especie se produjo porque, como ocurre en muchos otros casos, los genes capturaron directamente el problema ambiental exterior, imprimiendo a la selección natural una formidable aceleración y generando así la evolución.

nuevo ropaje de camuflaje sobre las cortezas. Todo en un tiempo demasiado corto como para confiar únicamente en el proceso de la selección natural a través de un primer individuo mutante.

Y todavía el ritmo es más rápido en las bacterias que se hacen resistentes a los antibióticos. Y lo fue en las cien clases de insectos que se hicieron resistentes al DDT. Casos de evolución no solamente veloz, sino que parece producirse al unísono en toda la especie, como si el conjunto de ella se pusiera a evolucionar al mismo tiempo, y no a partir de un individuo que adquiere una ventaja sobre los demás y la transmite. Digamos que la "velocidad de crucero" que adquiere la evolución desde el momento en que arranca, es demasiado rápida como para que pueda asumirla la selección natural según el modelo clásico darwiniano, a partir de los individuos aventajados.

Y es que la selección natural solo es eficaz cuando no se está ventilando la supervivencia de la especie, como en el caso de los pinzones de las Galápagos. Pero si unas vacas se encuentran amenazadas por manadas de lobos, unos virus por los antibióticos o unas polillas blancas por depredadores que las descubren en la coretza oscura, la cosa cambia, porque ahora está en juego la misma supervivencia de los individuos y de la especie, y no parece muy seguro confiar la salvaguardia de la misma a algo tan sumamente lento como la selección natural padres-hijos, por rápida que sea la sucesión de las generaciones. En este caso todo

parece indicar que el mecanismo evolutivo, sea este el que sea, "arrolla" al mucho más sosegado proceso de la selección natural, que pasa a un discreto segundo plano, dejando que sea ese otro mecanismo más rápido, mucho más rápido, el que adquiriera todo el protagonismo, imprima una brutal aceleración a la evolución y lidere la transformación que necesitan los individuos para que la especie no se extinga. Aplicando un símil, diríamos que la selección natural actúa en tiempos de paz (cuando no hay evolución), e incluso en tiempos de guerra fría (cuando se evoluciona sin apremio), pero que en tiempo de conflicto armado cede el sitio a los militares.

Hace falta saber quiénes son esos "militares". Es necesario un mecanismo evolutivo distinto para que los seres vivos evolucionen. Cuando acaece el cambio ambiental obliga a una reacomodación de las especies, y entonces se produce la evolución. Pero como la presión ambiental puede poner en grave e inmediato riesgo la supervivencia de la especie, la evolución debe cumplir tres requisitos, que no cumple el modelo de la selección natural: Primero, ha de ser rápida, porque en otro caso la presión ambiental es tan imperiosa que puede comprometer la supervivencia de la especie (lo que de todos modos a veces ocurre), y por ello ha de modificar sus rasgos casi de un día para otro; segundo, ha de ser general, y no a partir de individuos aventajados, porque en este caso también la evolución llegaría demasiado tarde para salvar a la especie; y tercero, ha de ser directa, segura y fiable, y no confiarse al

azar ni a la oportunidad de que salga un individuo aventajado, sino que ha de incidir en la modificación precisa, la que necesita la especie para adaptarse. La selección natural no cumple ninguno de estas exigencias, ya que es lenta, individual en un principio e insegura hasta dar con la respuesta adecuada. Si el árbol ha pasado a ser gris, el cambio de las polillas ha de ser enseguida gris para todas.

Hace falta pues un mecanismo distinto a la selección natural. Es lo que intuía Stephen Jay Gould, cuando proponía "un estilo diferente de cambio genético", tal vez "la reorganización rápida del genoma", aunque la doctrina general científica imperante no lo admitió. Pero sí se consolidó su teoría del equilibrio puntuado, más acorde con la realidad que la evolución gradual.

Hace falta que el mensaje ambiental se comunique de una forma rápida, general y precisa a los seres vivos, para que estos, de inmediato y de una manera directa, eficaz y segura, activen el mecanismo de la evolución. La selección natural ayudará, desde luego, pero por lenta no será el actor principal del proceso. Debe radicar en algo común a todos los seres vivos, en algo que detecte el cambio ambiental exterior y ponga en marcha la evolución.

Y lo que tienen en común todos los seres vivos, por mucho que parezca una obviedad, es la vida. La vida es un acontecimiento excepcional, y quienes la poseen se aferran a ella de un modo extraño. Hasta en las situaciones más calamitosas, cuando ya no tienen nada que perder y todo es sufrimiento, los animales se resisten a abandonar ese don precioso, y mientras quede un hálito de vida tratarán conservarlo de una manera desesperada.

Pero la vida no es más que una estructura genética. Como señala Ricardo Ayala, los genomas pasan la antorcha de la vida de una generación a otra. Y los genes parecen tener una verdadera obsesión por su perpetuación, porque se encuentran en cualquier partícula de los seres vivos. Tal multiplicación, que alcanza miles de millones de duplicados del ADN en cualquier ser vivo, es digna de reflexión. Hasta qué punto los genes están obsesionados por sobrevivir, que aunque muera el individuo su ADN permanece vigente durante cientos, miles de años. Incluso en algunos neandertales está siendo posible reconstruir el ADN, porque sigue sin destruirse. Los genes son la materialización de la vida, y una vez que esta surgió en la

Tierra, se resiste a dejarla y se asegura la perpetuación a través de las generaciones.

Los genes son los que, percibiendo el mensaje ambiental que llega del exterior, activan la evolución. De alguna manera captan lo que ocurre fuera, y proceden a hacer las variaciones y recombinaciones necesarias para adaptarse a las nuevas circunstancias. Hay que reconocer una suerte de inteligencia en los genes. Y por eso no dan pasos en falso, sino que en cuanto detectan la presión, impulsan la evolución a toda prisa y sin titubeos, en la dirección correcta y precisa.

Solo así se explica que la evolución camine a saltos, que sea "puntuada" (Jay Gould), que no haya fósiles intermedios. Solo así se explica que los caballos que llegaron al Africa percibieran que estaban siendo extinguidos por la mosca tsé tsé y resolvieran el problema desplegando rápidamente un pelaje rayado. Los genes decidieron sin titubeos el rumbo a seguir.

Que el medio ambiente y los genes están conectados directamente, sin la burocracia de la selección natural por medio, se estaría demostrando de una forma asombrosa en la actualidad: al parecer, los elefantes de la India están amenazados de extinción, porque son abatidos para arrancarles sus afrodisíacos colmillos. Pues bien, la manera como estarían resolviendo el problema es que los elefantes están naciendo sin colmillos. Directamente. Sin intervención de la selección natural. Si esto se confirma estaríamos ante la prueba irrefutable y definitiva de que la evolución se produce por la acción directa de los genes, y la selección natural jugaría un papel secundario y subordinado. Solo haría falta saber la "tecla" sensible de los genes que se pone en marcha cuando acaece el suceso ambiental exterior.

Información del autor

Borja Cardelús es autor de 31 libros, repartidos entre dos ámbitos: por una parte la Naturaleza y el medio ambiente; por otra, la historia de América y la cultura hispana. Asimismo ha dirigido setenta películas documentales sobre fauna salvaje, y ha sido Secretario General de Medio Ambiente, Presidente de Doñana y Presidente del Organismo Parques Nacionales. Es Premio Nacional de Medio Ambiente y ha sido miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

¿La inteligencia de los genes?

Una réplica darwinista

por Antonio Fontdevila

Departament de Genètica i Microbiologia, Universitat Autònoma de Barcelona.

E-mail: antonio.fontdevila@uab.es

El argumento sobre la supuesta "inteligencia" de los genes del Sr. Cardelús está sustentado en dos pilares: (1) una crítica a la acción de la selección natural (SN) por su incapacidad de respuesta a los cambios ambientales, principalmente los catastróficos, y (2) la necesidad de un mecanismo evolutivo mucho más rápido para explicar la evolución. Al primero dedica la mayor extensión y abarca muchos aspectos a los que nos vamos a referir con alguna precisión de la que carece su discurso. El segundo es mucho más especulativo y carente de bases empíricas, por lo que lo vamos a comentar con una extensión menor pero no menos preciso.

La crítica a la SN como motor de la evolución es una constante que ha ido apareciendo desde su formulación en "El origen de las especies" en 1859. En mi opinión gran parte de dichas críticas parten de una falsa interpretación del mecanismo de la SN. En primer lugar, la SN es el motor de la evolución adaptativa, pero no todos los cambios evolutivos son adaptativos. Existen paralelamente otros mecanismos que pueden promover evolución no adaptativa. Uno de ellos se describe mediante el concepto de "deriva" genética, que enfatiza el papel aleatorio predominante de los cambios génicos en la transmisión hereditaria cuando el número de individuos reproductores de una población es pequeño. Este es un concepto complejo perfectamente formalizado en la teoría evolutiva actual y que no contradice el papel predominante de la SN en la evolución adaptativa. Por otra parte no todas las mutaciones moleculares generan cambios que cambian el valor adaptativo del individuo; las que no lo hacen pasan inadvertidas por la SN. Es la evolución neutra. En ambos casos la SN no es operativa, pero esto no justifica relegar el valor creativo de la SN en la evolución adaptativa.

En segundo lugar, la teoría darwinista de la SN concede un papel fundamental al ambiente. En su versión más elemental

Darwin se apoya en la interacción malthusiana entre una limitación ambiental (recursos en general y alimento en particular) y un principio de expansión demográfica (crecimiento poblacional). Esta interacción genera competencia individual que hace posible que la SN pueda actuar favoreciendo a los más aptos ("the fittest" en inglés), los cuales dejan normalmente más descendientes. Sin embargo, esta interacción, aunque necesaria, no es suficiente. Es preciso que exista variabilidad genética entre los individuos de la población para que los más aptos transmitan sus ventajas a sus descendientes a través de sus genes. Si no existiera variabilidad genética sobre la que actuase la SN no habría cambio evolutivo, habría solo selección fenotípica como sucede en muchos clones que poseen la misma composición genética, sin trascendencia en las futuras generaciones. Sin embargo, los caracteres complejos (como el tamaño, la fuerza, la fecundidad o la inteligencia) están muy sujetos al efecto ambiental y no se heredan por completo. Su heredabilidad depende de la relación entre la variabilidad genética y la variabilidad ambiental en la población. Esta es la razón por la que generalmente "los hijos de una jirafa más alta, de un guepardo más rápido o de los grandes genios humanos", citando los ejemplos del Sr. Cardelús, pueden no heredar por completo estas cualidades y volver, regresar al menos en parte, a los valores de los padres. Si no existiera un efecto ambiental (varianza ambiental en términos científicos) la heredabilidad sería total; por el contrario si no hubiera varianza genética y sólo ambiental la heredabilidad sería nula. La heredabilidad es un concepto poblacional que ha sido formalizado en la teoría de la evolución desde hace muchas décadas y que conocen todos los mejoradores de plantas y animales, y también los conservacionistas. Es la explicación de la resistencia a estos cambios que el Sr. Cardelús, sin concretar ningún mecanismo

científico, atribuye a que "a la naturaleza le produce aversión a cualquier clase de cambio". De todo lo dicho parece que el Sr. Cardelús no solo olvida que la presente teoría de la evolución tiene muy en cuenta fenómenos no adaptativos, es decir no sujetos a la SN, sino que además no entiende el complejo papel interactivo del ambiente y los genes en el mecanismo de la SN. Obviando estos principios no puede deducirse a la ligera que la SN no es el motor de la evolución adaptativa.

En el ejemplo de las dos lanchas para descartar el papel de la SN en su divergencia de rumbo debida a grandes cambios ambientales (golpes de mar, olas súbitas) el Sr. Cardelús omite las múltiples explicaciones darwinistas, mejor neodarwinistas, para entender el significado del gradualismo. En primer lugar hay explicaciones perfectamente validadas de que la SN es también conservadora y trata de mantener una función cuando esta funciona, aunque dicha función no sea la óptima: es el principio de que "cuando algo funciona no lo toques". La SN es también oportunista, incluso chapucera en cuanto al diseño; utiliza (coopta) estructuras para ejercer nuevas y distintas funciones adaptativas ante cambios ambientales, lo cual le permite no tener que inventar de nuevo a cada desafío ambiental. Los ejemplos de estas adaptaciones oportunistas (exaptaciones en lenguaje científico) van desde nuestros huesecillos del oído medio (antiguas mandíbulas de los reptiles ancestrales) hasta los genes maestros del desarrollo (los genes *hox* por ejemplo) conservados desde nuestros ancestros más primitivos como las medusas. Esto permite entender en muchos casos tanto la estabilidad (estasis) que se encuentra en las especies durante largos periodos de tiempo, como la capacidad de responder a cambios ambientales mediante estructuras complejas con mayor rapidez de lo previsto.

Aunque los mismos Gould y Eldredge reconocieron al final que muchos casos de evolución intermitente (puntuada) podían explicarse por SN mediante modelos perfectamente darwinistas como el de la especiación peripátrida en organismos marinos, es cierto que muchos cambios evolutivos han seguido a catástrofes, como las grandes extinciones debidas a impactos de meteoritos. Estos grandes cambios son importantes, pero no acontecen continuamente, al menos en los últimos 500 millones de años en que se ha producido la mayoría de la evolución no microscópica. Es cierto que muchos cambios ambientales en este periodo son bruscos, en palabras del Sr. Cardelús,

como una sequía prolongada, incendios, epidemias e invasiones de especies exóticas y que su acción "traumática" obliga a evolucionar a los seres vivos. Sin embargo esta evolución no necesariamente obedece a leyes distintas al proceso de SN. Los dos ejemplos de los cambios en los pinzones y en las polillas, citados por el Sr. Cardelús, el primero como ejemplo de evolución gradual y el segundo como de evolución rápida, "fulgurante" según el Sr. Cardelús, no obedecen en absoluto a mecanismos distintos al de la SN. Es evidente que la presión ambiental induce el cambio evolutivo, pero de ahí a decir que "el medio ambiente es el protagonista del proceso y la selección natural es su herramienta" hay un abismo. Distinguir entre inductor (origen) y herramienta (instrumento) no implica preponderancia ni protagonismo. En experimentos de campo a largo plazo en Hawái, el matrimonio Grant, dos evolucionistas de gran prestigio, han demostrado que debido a una prolongada sequía la estructura de las plantas y sus semillas ha cambiado lo cual ha comportado cambios rápidos en la morfología de los picos de los pinzones de Darwin, perfectamente explicables por SN. Tampoco el cambio rápido hacia el color oscuro (forma melánica) de la polilla del abedul debido al oscurecimiento de la corteza de los troncos de los árboles por la contaminación industrial puede calificarse de "fulgurante" y no es más que un proceso adaptativo guiado por la SN para que las formas melánicas pasen desapercibidas (sean crípticas) para los pájaros depredadores y sobrevivan dejando más descendientes y más genes melánicos. Ambos procesos son ejemplos de la rapidez con que actúa la SN y en ningún caso del carácter determinante, aunque sí desencadenante, del cambio ambiental.

Cómo los genes de un organismo (su genotipo) determinan su fenotipo, es decir el conjunto de caracteres que interactúan con el ambiente, ha sido siempre (y lo sigue siendo) uno de los mayores desafíos para entender la evolución. Lamarck postuló que el ambiente influía directamente en el genotipo a través de su interacción con el fenotipo y los caracteres adquiridos en la adaptación fenotípica podían así modificar los genes causando la evolución adaptativa. En esta hipótesis el ambiente es el director de la evolución. Este mecanismo nunca ha sido probado. Sin embargo, conocemos bastante de la interacción entre el genotipo y el ambiente. Por ejemplo, se sabe desde hace mucho que distintos ambientes generan un conjunto de respuestas (fenotipos) en un mismo genotipo. Esta propiedad se conoce

como su norma de reacción. Así, una misma planta cultivada en altitudes distintas o en ambientes acuático o de tierra firme produce plantas con características diferentes: con mayor o menor porte, con distintas formas de hojas, etc., las cuales ayudan a su supervivencia en muchos casos. Esto se denomina adaptación somática y ya fue observada para caracteres del comportamiento humano por Baldwin, un psicólogo experimental del siglo XX, el cual postuló que este mecanismo podía ser adaptativo en el sentido de la SN porque permitiría la adaptación inmediata en respuesta a ambientes estresantes, evitaría la extinción y daría tiempo a que aparecieran las mutaciones adecuadas para poder ser seleccionadas e incorporadas a un nuevo genotipo adaptado. Este es un mecanismo, denominado efecto Baldwin, citado por el Sr. Cardelús a favor del ambiente como causa de la evolución, pero perfectamente acorde con el darwinismo. El Sr. Cardelús utiliza estos y otros mecanismos, sin explicitarlos, como prueba de su hipótesis de que "no han sido los individuos variantes, aquellos que tienen ventajas sobre los demás, los que han arrastrado al resto de la especie, sino que ha sido la naturaleza, el medio ambiente, quien los ha forzado y ha impulsado la evolución, aunque para hacerlo haya hecho uso de la selección natural". Pero cuando se describen en detalle se observa que se explican perfectamente por SN.

Es evidente que el lamarckismo no es un mecanismo comprobado de apoyo para la tesis del Sr. Cardelús. Sin embargo, el efecto Baldwin merece un mayor comentario. La norma de reacción de los seres vivos es una manifestación de su plasticidad fenotípica que permite muchas veces una adaptación inmediata, aunque generalmente imperfecta, a las agresiones ambientales y evita la extinción de las poblaciones. Numerosos experimentos demuestran que el estrés ambiental, materializado en someter organismos experimentales como la mosca *Drosophila* a condiciones extremas como altas temperaturas (choques térmicos) o altas toxicidades (extrema salinidad o concentración de tóxicos), genera nuevos fenotipos que cambian su tolerancia o también algunos caracteres anatómicos. Lo interesante es que cuando investigadores como Waddington, un genético de alta reputación, han seleccionado estos fenotipos inducidos aberrantes generación tras generación han comprobado que a partir de una generación avanzada ya no es preciso seguir seleccionando el fenotipo porque éste se ha estabilizado genéticamente, es decir no

revierte al original. La explicación de este fenómeno conocido como asimilación genética, avalada por estudios genéticos precisos, es que existen complejos mecanismos de control de la expresión génica que en condiciones normales generan un único fenotipo óptimo (canalizado, en términos científicos) y son capaces de superar cambios ambientales menores. Está demostrado que existe mucha variabilidad que no se expresa (críptica) dentro de un intervalo normal de ambientes, pero que sí lo hace cuando la agresión ambiental es extrema. Si esta variabilidad se selecciona artificialmente bajo condiciones estresantes puede canalizarse, y si es adaptativa en las nuevas condiciones la SN la fijará en la población. De nuevo la SN es la que decide qué nuevos cambios han de seguir el camino evolutivo y el ambiente es el desencadenante, pero no el causante, de la evolución adaptativa por SN.

Los conceptos de plasticidad fenotípica, canalización y asimilación genética están íntimamente relacionados y describen el intrincado proceso de cómo la variabilidad genética bajo el control de la SN genera adaptación a través del desarrollo orgánico. Estos mecanismos son el resultado de la SN para mantener la adaptación frente a los cambios ambientales más "bruscos", pero nunca apoyan la idea de que el ambiente es el causante primordial de dichos cambios adaptativos. Es bastante chocante como el Sr. Cardelús utiliza estos conceptos alegremente como prueba de su hipótesis antidarwinista sin profundizar en ellos. Esto puede resultar sugestivo para un público ambientalista encomiable, amante y defensor de la naturaleza, predispuesto a aceptar el papel predominante del ambiente, aunque poco entendido en los mecanismos genéticos que subyacen en todo cambio evolutivo. Pero resulta inaceptable que estos naturalistas loables por su defensa de la naturaleza caigan en las redes de seductores que utilizan pocos criterios científicos para argumentar sus hipótesis, intentando además apoyarse falazmente en teorías serias malinterpretadas.

La insistencia del Sr. Cardelús en que la SN es demasiado lenta para superar la supervivencia de la especie ante una agresión ambiental de alto calibre carece de fundamento en sus ejemplos de las polillas, de las vacas mostrencas y de la resistencia a los antibióticos y al DDT. En cada caso existen evidencias de que la SN es un agente director, operante y eficaz. Lo cual no impide que el proceso evolutivo contenga peculiaridades en cada proceso. Por ejemplo, en la resistencia a los antibióticos se conoce desde

hace más de 30 años que la variabilidad seleccionable se origina debido a la adquisición de factores genéticos de resistencia mediante procesos de transmisión de unas bacterias a otras. La inserción en lugares clave del genoma de factores reguladores de la resistencia al DDT contenidas en secuencias móviles de ADN (elementos móviles) es otro mecanismo que genera variabilidad seleccionable. Ambos procesos (transmisión horizontal y transposición, en términos científicos) aceleran la evolución adaptativa al no tener que esperar a que aparezcan las mutaciones adecuadas. Son un ejemplo más del oportunismo de la SN que utiliza toda la variabilidad a su alcance, no importando su procedencia, y no desvirtúan el papel decisivo de la SN en la adaptación (o supervivencia) de la población. El caso de las polillas y las vacas mostrencas obedecen a las leyes generales de la selección de caracteres descritas y comprobadas en estudios teóricos y experimentales y no merecen mayor comentario. Llama la atención como el Sr. Cardelús en una publicación reciente (<http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Cardelus.htm>) explica la evolución rápida en pocas generaciones por SN de la cornamenta de las vacas mostrencas llevadas por los españoles a Texas hacia las vacas longhorn de largos cuernos. Parece que actualmente ha cambiado de opinión.

La genómica nos está revelando que existen muchos mecanismos inducidos por el ambiente que enriquecen el proceso evolutivo y que pudieran incidir en el papel y el ritmo de la SN. Es sorprendente que el Sr. Cardelús no mencione ninguno de ellos. Como ejemplo citemos el caso de la epigenética. Waddington acuñó el término en 1942 para explicar todas "las interacciones de los genes con su ambiente responsables del desarrollo del fenotipo". Estas interacciones, poco entendidas en su tiempo, están siendo descifradas actualmente. Resumiendo, existe la evidencia que determinados factores ambientales, como la alimentación, pueden movilizar ciertos radicales químicos, como los grupos metilo, que inciden en la regulación génica enlazándose o no a la molécula de ADN, pero sin cambiar sus componentes nucleotídicos. Esta modificación de la expresión génica puede transmitirse a la descendencia de hembras de mamíferos (y por supuesto de las mujeres) y de otros organismos, incluyendo insectos, lagartos y plantas, generando fenotipos alterados, sujetos por supuesto a la SN. La cuestión es durante cuantas generaciones puede

mantenerse esta modificación ambiental del ADN. Es evidente que su valor evolutivo dependerá de su persistencia en el genoma. Actualmente no lo sabemos, pero el tema es del máximo interés en el contexto del papel del ambiente en la acción de la SN y sorprende el silencio del Sr. Cardelús ante este hecho.

La imagen metafórica de que la SN "en tiempo de conflicto armado cede el sitio a los militares" y deja de tener protagonismo resulta muy seductora, pero encierra un peligroso engaño. Y como el mismo dice "hace falta saber quiénes son estos militares". Desde luego nunca lo sabremos si utilizamos los argumentos especulativos del Sr. Cardelús. La única solución está en emplear el método científico y ver que nos dicen la experimentación y la observación. Veamos según él los tres requisitos que no cumple la SN cuando la agresión ambiental es de gran calado. En primer lugar "debe ser rápida". Esta condición se cumple en muchos de los casos documentados como en los pinzones de Darwin y en las polillas melánicas; en otros se refuerza con mecanismos que amortiguan el efecto ambiental, echando mano de la plasticidad fenotípica, y en otros reorganizando el genoma dando oportunidades a la expresión de variabilidad seleccionable. A lo largo de millones de años la propia acción de la SN ha hecho evolucionar el genoma hacia una estructura funcional que favorece dichos mecanismos. La plasticidad fenotípica, la asimilación genética, los mecanismos epigenéticos y las explosiones de transposición de elementos móviles ante estrés ambiental son, entre otros, algunos de ellos, y no son independientes entre si.

El segundo requisito es que "ha de ser general y no a partir de individuos aventajados". Nadie se atrevería a sostener la omnipotencia de la SN en condiciones extremas, de ser así no habrían existido extinciones. Hemos de aceptar que las especies se extinguen, pero que los ambientes no son igualmente drásticos para todas las especies y que la extinción de muchas especies supone la emergencia de otras por SN debido a su menor susceptibilidad al efecto extremo ambiental y su mayor oportunismo, como es el caso conocido de la radiación evolutiva de los mamíferos después de la extinción de los dinosaurios. La evolución de las especies es un proceso que depende en algunos casos de la extinción y es muy general. Pero, ya hemos indicado que la propia SN ha seleccionado genomas con funciones que tratan de paliar los efectos devastadores del ambiente como es el caso de la plasticidad fenotípica, el efecto

amortiguador de las proteínas de "choque térmico" ante temperaturas altas o la movilización de elementos móviles frente al estrés ambiental de factores abióticos (productos tóxicos o agresiones físicas) o bióticos (ataques víricos, bacterianos o fúngicos). Todas estas respuestas actúan a nivel general en las poblaciones. Sin embargo, a pesar de que se acepta la selección a otros niveles como el de grupo, el papel eficaz de la selección individual no puede excluirse como ha sido comprobado en numerosos experimentos.

Finalmente, la tercera condición de que la evolución "ha de ser directa, segura y fiable, y no confiarse al azar ni a la oportunidad de que salga un individuo aventajado" es tremendamente especulativa, huele a lamarckismo teleológico, y plantea de nuevo el debatido problema del azar frente al propósito. La SN no es un mecanismo azaroso, es en realidad determinista porque su finalidad es la supervivencia de los genes del más apto, aunque se apoya en un mecanismo azaroso de generación de variabilidad genética. Las respuestas del genoma a ambientes extremos no están dirigidas a la adaptación a dichos ambientes: las mutaciones puntuales o cromosómicas, la movilización de los elementos móviles y, en general, la reorganización del genoma ante un estrés extremo no se producen para bien del genoma. Conociendo el carácter oportunístico de la SN, su valor evolutivo puede explicarse perfectamente como proveedores de variabilidad (nueva o críptica) sobre la que la SN puede elegir aquellas variantes con valor adaptativo. Existen respuestas a ambientes específicos, como el caso de las proteínas de choque térmico, que están dirigidas a ambientes concretos, pero son el resultado de la acción de la SN que ha favorecido durante millones de años de evolución mecanismos de defensa concretos: en el caso de dichas proteínas para estabilizar el plegamiento de moléculas reguladoras frente a estreses térmicos moderados. En este, como en los demás casos, cuando el estrés es extremo el mecanismo corrector no es suficiente y la respuesta es drástica generando variabilidad no dirigida en gran parte aberrante, sujeta a asimilación genética mediante SN.

Todos los experimentos sobre la dinámica del genoma frente a cambios ambientales inciden sobre la vieja controversia que enfrenta la rápida explosión frente a la gradual aparición de las novedades evolutivas. En general, los resultados obtenidos hasta el presente demuestran que siempre los genes

de gran efecto esconden gran cantidad de variabilidad reguladora de efecto menor. Esto favorece el mecanismo gradualista de la SN a través de esta variabilidad, sin necesidad de acudir a la acción dirigida de los genes frente al ambiente, en una suerte de "inteligencia" que nadie ha demostrado hasta el presente. Si el Sr. Cardelús confunde la inteligencia con el egoísmo de los genes sensu Dawkins, es algo que no queda claro en su hipótesis, pero ambos conceptos no tienen nada que ver. El gen egoísta está sujeto a la SN, mientras que el inteligente no. El ejemplo de los colmillos de los elefantes como prueba de dicha inteligencia es bastante pueril y puede explicarse perfectamente por SN. Es evidente que la teoría de la evolución en su estado actual está siendo perfeccionada y no está acabada y algunos autores hablan de una nueva síntesis. La complejidad de dicha teoría es cada vez más difícil de captar y entender por el gran público, pero el papel decisivo de la SN en el camino evolutivo está fuera de toda duda.

Me voy a permitir una reflexión final para centrar lo que yo considero el núcleo humanista del problema planteado por el Sr. Cardelús. Aunque no nos guste, sobre todo porque choca con nuestra naturaleza emotiva de trascendencia, la falta de propósito de la evolución no ha podido ser desmentido científicamente. Realmente hay muchas cosas que no nos gustan de la naturaleza. El "infanticidio" de las crías de una hembra de león por parte de un león macho en celo para asegurar que sus genes predominen en la siguiente generación frente a los del padre de los cachorros es un ejemplo de esto. Tampoco nos gusta que los cambios en respuesta a un ambiente, sobre todo aquellos que nosotros adquirimos con nuestro esfuerzo y talento durante nuestra vida, no puedan ser transmitidos a nuestros descendientes a través de nuestros genes. Pero, aunque no nos guste, debemos aceptar que la SN es el motor de la evolución darwinista y no inventar otros mecanismos más acordes con nuestra moral. La naturaleza no humana no se rige por principios morales, la moral es un fenómeno humano. Por eso no podemos justificar ciegamente nuestro comportamiento por las leyes naturales. Pero tampoco debemos formular las leyes naturales de acuerdo con nuestros valores humanos. El progreso no consiste en formular paradigmas especulativos que expliquen la naturaleza de acuerdo a nuestros principios morales, sino en conocer (y aceptar) las leyes de la naturaleza, en las que todos estamos implicados por evolución, para tratar de

modificarlas cuando se oponen a nuestra concepción moral. La inteligencia de los genes que el Sr. Cardelús propone podría ser uno de estos paradigmas especulativos formulados a la carta de nuestros principios morales.

Información del autor

Antonio Fontdevila es Catedrático Emérito de Genética y ex-Director del Grupo de Biología Evolutiva de la Universidad Autónoma de Barcelona, coordinado con la Universidad de Barcelona (1995-2009). Durante su larga carrera científica ha dirigido 18 tesis doctorales, ha sido profesor visitante en más de 20 universidades en todos los continentes y ha sido conferenciante invitado más de 35 veces en 10 países diferentes. Es y ha sido editor asociado de varias revistas y ha sido miembro del consejo de la European Society for Evolutionary Biology (1993-1997). Ha participado en 30 proyectos de investigación nacionales e internacionales, en 24 de ellos como investigador principal. Ha publicado más de 140 artículos y capítulos de libros con revisores internacionales. Es editor de un libro (*Evolutionary Biology of Transient*

Unstable Populations (1989), Springer-Verlag, Berlin), co-autor de tres libros (*Introducción a la Genética de Poblaciones* (1999); *Evolución: Origen, Adaptación y Divergencia de las Especies* (2003); *La Evolución Biológica: Una Reconstrucción Darwinista* (2013), Ed. Síntesis, Madrid) y autor del libro: *The Dynamic Genome: A Darwinian approach* (2011), Oxford Univ. Press, Oxford.). Es fundador del Seminario de Genética de Poblaciones y Evolución en España y ha organizado tres congresos internacionales, entre los que destaca el Seventh Congress of the European Society of Evolutionary Biology (Bellaterra, 1999). Las aportaciones más relevantes de su grupo de investigación se centran en la medida de la aptitud en las estrategias de vida de las poblaciones naturales, la adaptación térmica, la ecología y la genética evolutivas de la colonización, la sistemática del complejo *buzzatii* (*Drosophila*), la evolución molecular y la genética de poblaciones de los elementos transponibles, la inestabilidad híbrida producida por dichos elementos y la evolución del aislamiento reproductivo postzigótico.

DIVULGACIÓN EVOLUCIONISTA

De la necesidad o no de una nueva síntesis evolutiva

Un resumen del artículo:

Laland, K. *et al.* 2014. Does evolutionary theory need a rethink? *Nature* 514: 161-164.

Comentado por Luis Boto

Dept. Biodiversidad y Biología Evolutiva, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC

E-mail: mcnb119@mncn.csic.es

La denominada Síntesis Moderna ha presidido desde su formulación en los años 30 y 40 del siglo XX el pensamiento evolutivo. Dicha síntesis nació como un intento de situar el pensamiento de Charles Darwin a la luz de los conocimientos en Genética que por aquella época se acumulaban a un ritmo acelerado.

Sin embargo, con el cambio de siglo algunos autores sugieren que es el momento de elaborar una nueva síntesis o síntesis extendida que recoja los avances producidos en el estudio de la evolución en los últimos treinta años (Pigliucci 2007, Carroll 2008, Koonin 2009) durante los cuales, la aplicación de la biología molecular al estudio de la ontogenia y filogenia de los seres vivos, el desarrollo de las diferentes -ómicas (genómica, transcriptómica, proteómica, etc), y la incorporación de los microorganismos al pensamiento evolutivo ha revelado nuevas claves acerca de la evolución.

En este sentido, en el año 2010 aparece un libro editado por Pigliucci y Müller titulado "*Evolution-The Extended Synthesis*" (2010) recogiendo diferentes trabajos surgidos del desarrollo de diferentes campos y programas de investigación escasamente desarrollados en el momento en que se formuló la Síntesis Moderna, que convergen en la idea de que una nueva síntesis es necesaria.

Al mismo tiempo, otros autores (Kutschera y Niklas 2004, Moreno 2009, Danchin 2013) cuestionan la necesidad de esta nueva síntesis apoyando que el marco conceptual en el que se mueve la actual teoría evolutiva, emanado del trabajo fundador de Darwin y recogido en la Síntesis Moderna es suficiente para acomodar estos nuevos descubrimientos.

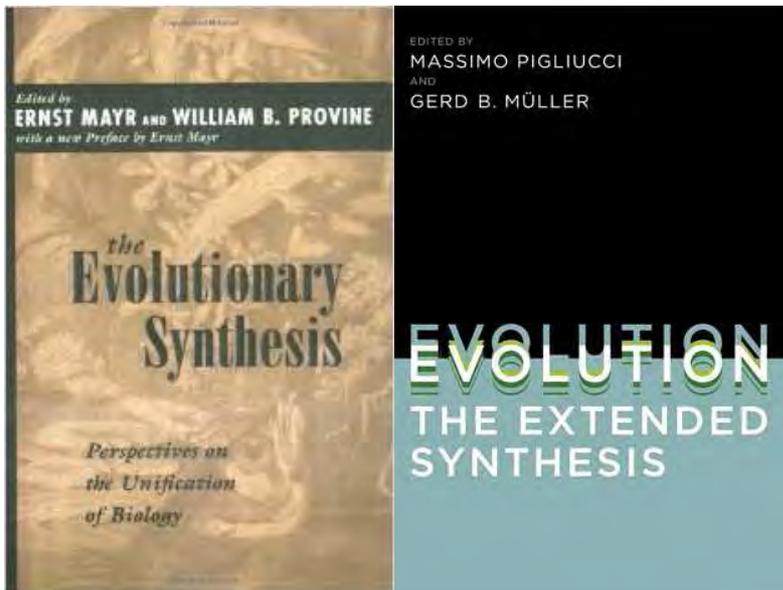
Un artículo recientemente publicado en la revista *Nature* (Laland *et al.* 2014) se hace eco de este debate enfrentando los

argumentos de ambas partes acerca de la necesidad o no de una nueva síntesis evolutiva.

Por un lado, Laland, Uller, Feldman, Sterelny, Müller, Moczek, Jablonka y Odling-Smee critican el supuesto inmovilismo de la síntesis moderna y el enfoque excesivamente centrado en el gen de ésta apoyando la urgencia de la construcción de una nueva síntesis que considere como causas de la evolución (y no como meros productos de la misma) la generación de variación que surge de los propios procesos de desarrollo, la variación de formas de los organismos modulada por el ambiente a través de la plasticidad fenotípica de éstos, la intervención de los organismos en la modificación del ambiente a través de la construcción de sus propios nichos, o el papel de la herencia extragenética, de la que las modificaciones epigenéticas tanto del ADN como de las proteínas que contribuyen a regular su expresión constituyen un ejemplo.

En este sentido, consideran que un enfoque pluridisciplinar que integre evidencias de diferentes campos y programas de investigación en el estudio de la evolución es prioritario.

Por otro, Wray, Hoekstra, Futuyma, Lenski, Mackay, Schluter y Strassmann defienden que todos estos procesos tienen cabida en el marco conceptual de la actual síntesis, que son perfectamente asumidos por ellos en tanto que evolucionistas y que a lo sumo, lo que es necesario es un esfuerzo por integrar este nuevo conocimiento en el marco que proporciona el paradigma evolutivo. En su concepción, todos los procesos que los defensores de la nueva síntesis proponen corresponden a nuevos nombres de viejos conceptos y aunque están aportando elementos muy interesantes al conocimiento de cómo funciona la evolución, su papel tanto como generadores de variabilidad como en



relación a la adaptación de los organismos está por demostrar. Por otro lado, defienden el papel central de los genes sugiriendo que desplazar el foco de éstos llevaría a reducir la validación empírica y la capacidad predictiva de la teoría evolutiva.

Finalmente hacen un llamamiento a los defensores de una nueva síntesis a unirse a ellos en un esfuerzo por integrar estos procesos en una síntesis inclusiva.

Aunque desde las dos partes se reconocen las aportaciones a la biología evolutiva desde diferentes campos, la forma de interpretar dichas aportaciones es diferente. Mientras que para los defensores de una nueva síntesis, estas aportaciones suponen ampliar el marco de posibles mecanismos evolutivos más allá del papel casi exclusivo que los defensores del *status quo* actual atribuyen a la selección natural, para éstos dichas aportaciones solo amplían los mecanismos de adquisición de variabilidad sobre la que actuará la selección natural. Mientras que para los defensores del marco surgido de la síntesis moderna solo los procesos que conducen a cambios en las frecuencias génicas pueden ser considerados como mecanismos evolutivos, para los defensores de una nueva síntesis existen, en adición a éstos otros procesos que pueden ser considerados en sí mismos como mecanismos de la evolución.

Un claro ejemplo de las dos diferentes visiones lo tenemos en la interpretación de la presencia de fenotipos similares en diferentes especies. Mientras que para los defensores del actual marco evolutivo la presencia de fenotipos similares en diferentes especies es un ejemplo de evolución convergente, debido a que condiciones ambientales similares conducen a formas similares a través de la selección de la

variabilidad genética aleatoria subyacente, para los defensores de una nueva síntesis esta similitud es consecuencia de la presencia de constricciones marcadas por los procesos de desarrollo a la acción de la selección.

Como reconocen en el artículo los defensores del actual marco conceptual, los procesos propuestos aquí por los defensores de una nueva síntesis no son los únicos que requieren ser integrados en el actual pensamiento evolutivo. Epistasis, variación genética críptica, contingencia y sobre todo la transferencia horizontal de genes entre organismos como fuente de variación (un proceso que ninguno de los dos bandos discute en este artículo y que supone retos a sólidas concepciones del actual paradigma como puede ser la visión como un árbol del proceso evolutivo en su conjunto) constituyen procesos y fuerzas evolutivas emergentes que deberían ser integrados ya sea en una nueva síntesis o en una versión extendida de la actual.

En cualquier caso, lo que este debate pone de relieve es que la biología evolutiva goza de muy buena salud y no es un cadáver exquisito. Que el estado del conocimiento sobre la evolución y sus mecanismos sea un estado dinámico no debería generar ningún temor de ser utilizado por defensores de cualquier forma de creacionismo. Desde ambas partes se habla de evolución y solamente de evolución y desde ambas partes el mensaje claro es que el propio estudio de la evolución también está evolucionando.

REFERENCIAS

- Carroll, S.B. 2008. Evo-devo and expanding evolutionary synthesis. A genetic theory of morphological evolution. *Cell* 134: 25-36.
- Danchin, E. 2013. Avatars of information: Toward an inclusive evolutionary synthesis. *Trends Ecol. Evol.* 28: 351-358.
- Koonin, E.V. 2009. The origins at 150: Is a new evolutionary synthesis in sight? *Trends Genet.* 25: 473-475.
- Kustchera, U. y Niklas, K. J. 2004. The modern theory of biological evolution: an expanded synthesis. *Naturwiss.* 91: 255-276.
- Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterlmy, K., Müller, G.B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J., Wray, G.A., Hoekstra, H.E., Futuyma, D.J., Lenski, R.E., Mackay, T.F.C., Schuster, D. y Strassmann, J.E. 2014. Does evolutionary theory need a rethink? *Nature* 514: 161-164.
- Moreno, J. 2009. *Los Retos Actuales del Darwinismo: ¿Una Teoría en Crisis?* Ed. Synthesis, Madrid.
- Pigliucci, M. 2007. Do we need an extended evolutionary synthesis? *Evolution* 61:2743-2749.
- Pigliucci, M y Müller, G.B. 2010. *Evolution - The Extended Synthesis*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

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

© 2014



ISSN 1989-046X