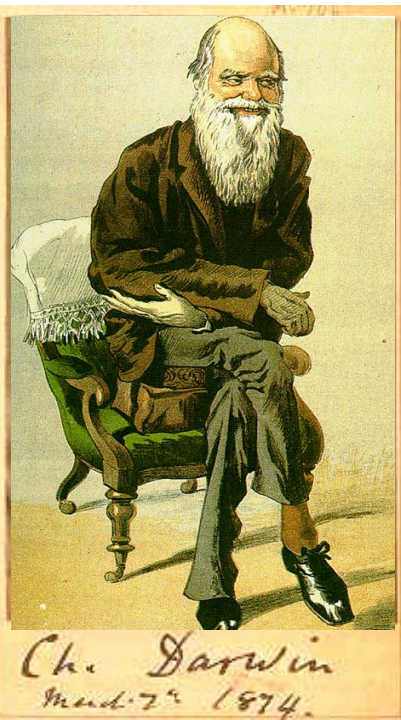


# EVOLUCIÓN

VOLUMEN 13(1) 2018



**DESPEDIDA DESDE LA eVOLUCIÓN**, por A. MOYA — 3

**ARTÍCULOS:**

**BOTO LÓPEZ, L.**

¿Qué sabemos del origen de los eucariotas? — 5

**CAMPOS QUEMADA, J.**

El Darwinismo de Darwin — 11

**LUQUE, V. J.**

George Price y el lenguaje de la evolución — 33

**PÉREZ RAMOS, H.**

La epistemología bajo la óptica de la biología evolutiva (I). Un modelo del funcionamiento de la capacidad cognitiva en aves y mamíferos — 43

**COMENTARIOS DE LIBROS:**

*“La Invención de la Naturaleza: el Nuevo Mundo de Alexander von Humboldt”* de Andrea Wulf

Comentado por V.J. LUQUE — 96

**CRÓNICA DEL CONGRESO DE MALLORCA**

por EL COMITÉ ORGANIZADOR — 99

**EN RECUERDO DE MARIO A. FARES,**

por S.F. ELENA — 102

**NORMAS DE PUBLICACIÓN** — 104



## Editores de eVOLUCIÓN

José Martín y Pilar López

### Junta Directiva de la SESBE

Presidente: Toni Gabaldón  
Vicepresidente: Cori Ramón  
Secretario: Borja Milá  
Tesorero: Andrés Barbosa  
Vocales: Inés Álvarez  
Jordi García  
Susanna Manrubia  
Emilio Rolán  
Juan Arroyo  
Amparo Latorre

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

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

© 2018 SESBE

ISSN 1989-046X

Quedan reservados los derechos de la propiedad intelectual.

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



**Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE)**

Facultad de Ciencias  
Universidad de Granada  
18071 Granada

<http://www.sesbe.org>

e-mail: [sesbe@sesbe.org](mailto: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](mailto:jose.martin@mncn.csic.es)  
[pilar.lopez@mncn.csic.es](mailto:pilar.lopez@mncn.csic.es)

## ¡¡LA eVOLUCIÓN CON NUEVA JUNTA!!

Recién llegados del magnífico congreso de la sociedad organizado por nuestros amigos genéticos de la Universitat de les Illes Balears en Palma de Mallorca y con la nueva junta directiva elegida allí, hemos reunido nuevos ánimos para seguir con la difusión de la Teoría Evolutiva. Primero de todo felicitar y agradecer a los organizadores del congreso por su hospitalidad y por concentrar toda la diversidad de la investigación sobre evolución en unos pocos días. Incluimos un resumen del congreso en este número de la revista. Por otro lado, despedir y dar las gracias a Andrés Moya por su apoyo como presidente a la sociedad y a eVOLUCIÓN en particular en todo este tiempo. Comenzamos este número con una pequeña nota de despedida de Andrés. Y como no, dar la bienvenida y enhorabuena a Toni Gabaldón por su nuevo cargo de presidente. Toni ya nos ha ayudado mucho también con la difusión de la revista en el pasado y esperamos seguir contando con su ayuda y sus artículos como presidente para el futuro.

Continuamos este número de la revista con cuatro interesantes artículos evolutivos donde se presentan: 1) una revisión sobre lo que se conoce sobre el origen de los eucariotas, 2) la "evolución" que fue teniendo Darwin a lo largo de su vida respecto a sus ideas "darwinistas", 3) la figura y la contribución de las ideas de George Price a la evolución, y 4) la primera parte de un artículo con una hipótesis sobre cómo pueden funcionar los mecanismos y sistemas de nuestra capacidad cognitiva.

Incluimos además una reseña de un libro sobre la vida y viajes de Alexander von Humboldt, un resumen del congreso de Mallorca. Por último, y muy lamentablemente, una nota de recuerdo de nuestro compañero recientemente fallecido Mario A. Fares.

Esperamos que la SESBE con todos sus socios y su junta renovada, y con ella la revista eVOLUCIÓN, continúen divulgando y contribuyendo al conocimiento de la Teoría Evolutiva. Gracias a todos.

*José Martín y Pilar López*  
Editores de eVOLUCIÓN

## Despedida desde la eVOLUCIÓN

Estimados Socios de la SESBE:

Ya ha tenido lugar en Palma de Mallorca el sexto Congreso de la SESBE donde hemos dado entrada a la nueva junta directiva. Ahora ya os escribo como ex-presidente de la SESBE y felicito a Toni Gabaldón como nuevo presidente entrante y a Borja Milá (secretario), Emilio Rolán (vocal) y Amparo Latorre (vocal), como nuevos miembros que entran en la junta directiva.

Hemos podido afianzar la sociedad en diferentes sentidos. Tenemos un número razonable de socios, los congresos están establecidos, la revista está funcionando y la colección de libros sigue adelante. Nos encontramos con unas cuentas saneadas y con fondos suficientes como para llevar a cabo nuevas iniciativas por parte de la junta entrante.

No obstante estas cosas, hay otras que mejorar. Por ejemplo, la web, la comunicación más fluida con los socios, la captación de nuevos, labores varias de difusión social de la ciencia y la evolución biológica y tratar de llegar a colectivos profesionales interesados en la evolución, tales como médicos, psicólogos, docentes de la enseñanza secundaria, etc.



**Andrés Moya**, Ex-Presidente de la SESBE

Contamos con fondos para promover todas estas cosas. La nueva junta, que se renueva ampliamente, es conocedora de todo esto.

Los nuevos congresos de la SESBE serán en Sevilla, el séptimo, y en Vigo, el octavo. Allí me encontrareis. Contad conmigo.

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 un trámite muy sencillo

- Rellena con tus datos personales el formulario de inscripción que se encuentra en la web de la SESBE ([www.sesbe.org/ser-miembro/](http://www.sesbe.org/ser-miembro/)).
- Realiza el pago de la cuota anual de 15 ó 30 euros (según sea miembro estudiante o regular) 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

- Una vez se realice la transferencia, deberá remitirse el comprobante de pago bancario por correo electrónico (escaneado-pdf) a la Secretaría Técnica de la SESBE:
  - [secretaria.sesbe@kenes.com](mailto:secretaria.sesbe@kenes.com).
- Una vez completado el trámite, nos pondremos en contacto con el nuevo socio para comunicarle que el proceso se ha realizado con éxito, activar su cuenta y darle la bienvenida en nombre de la Junta Directiva.

## ¿Qué sabemos del origen de los eucariotas?

**Luis Boto López**

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

### RESUMEN

El origen de los eucariotas constituye una de las grandes transiciones en la historia de la vida. Hoy existe un amplio consenso en que éste se produce por la interacción entre dos organismos procarióticos pertenecientes a los dominios bacteriano y archaeano. Sin embargo, diferentes modelos y escenarios que implican diferentes asunciones han sido propuestos para explicar este origen. En el presente artículo reviso sucintamente el estado actual de nuestro conocimiento en relación a como surgieron los eucariotas. *eVOLUCIÓN 13(1): 5-10 (2018)*.

**Palabras Clave:** Eucariogénesis, Simbiogénesis, Modelos.

### ABSTRACT

The eukaryotic origin is one of the great transitions in the history of the life. Today is accepted that eukaryote domain is the fruit of the interaction between two prokaryotic organisms belonging to Bacteria and Archaea life domains. In the present article I review the different models and scenarios proposed to explain the eukaryotic origin. *eVOLUCIÓN 13(1): 5-10 (2018)*.

**Key Words:** Eukaryogenesis, Symbiogenesis, Models.

El origen de los eucariotas supone una de las grandes transiciones en la historia de la vida (Maynard Smith y Szathmáry 1997) y hoy es mayoritariamente aceptado que fue consecuencia de la interacción entre dos procariotas, aunque existen discrepancias acerca de cómo esta interacción derivó en un nuevo tipo de célula nucleada, con un complejo sistema endomembranal y poseedora de mitocondrias (u orgánulos derivados) y en el caso de células vegetales, también de plastos.

Ya a comienzos del siglo XX, Mereschkowsky (1909) sugirió un papel de la simbiosis para explicar la célula eucariótica. Sin embargo no es hasta los años 70 cuando gracias a Lynn Margulis (1970) empieza a tomar consistencia la idea, inicialmente muy contestada, de un origen simbiogenético de la célula eucariota, al menos en lo que se refiere al origen bacteriano de mitocondrias y plastos. Pero muy pronto comienzan las dudas acerca de que “partenaires” pudieron intervenir en este proceso.

También en los años 70 Carl Woese (1977) revoluciona el conocimiento de los procariotas con el descubrimiento de las que denominó como arqueobacterias y hoy conocemos como Archaea, a través del estudio del ARN ribosómico 16S, lo que le lleva a postular la división de la vida en tres dominios, Bacteria, Archaea y Eukarya (Woese et al. 1990), con éstos dos últimos más cercanos filogenéticamente. Esta cercanía filogenética entre Archaea y Eukarya ha llevado a

pensar durante bastante tiempo que los eucariotas pudieron surgir como una rama divergente de las Archaea.

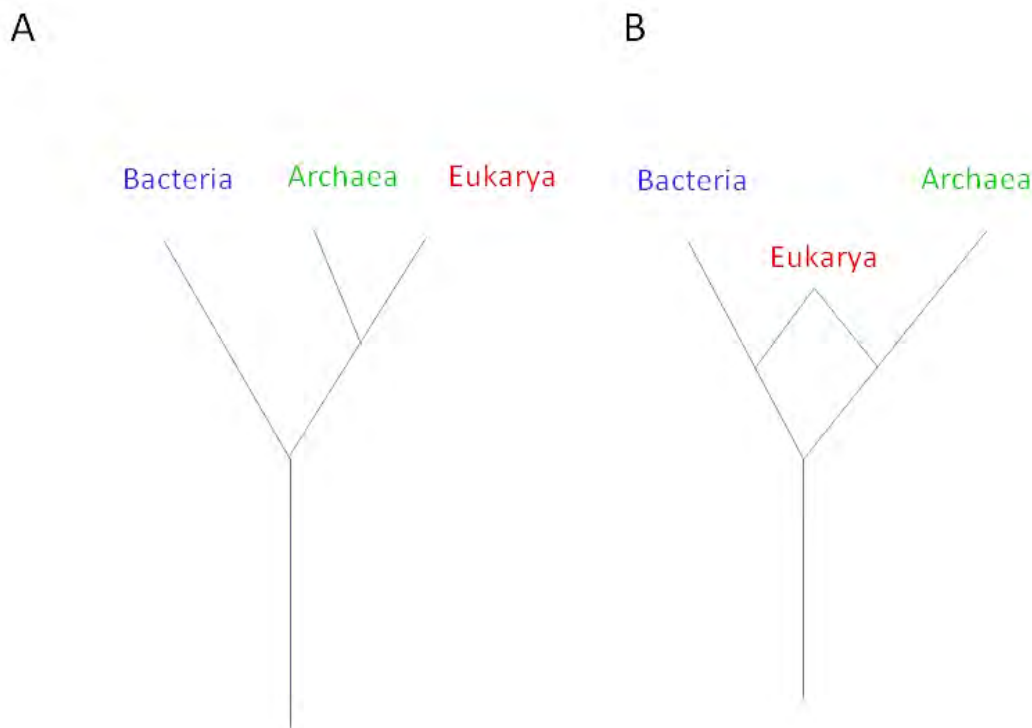
Es a partir del comienzo del nuevo siglo y como consecuencia del surgimiento de lo que podríamos denominar como era genómica, cuando el proceso de eucariogénesis empieza a ser entendido en su conjunto, aun cuando surgen diversas interpretaciones acerca de determinados aspectos del mismo.

En el presente trabajo intentaré resumir lo que se conoce actualmente acerca de cómo pudo surgir la célula eucariótica y por consiguiente los propios eucariotas.

### **La célula eucariótica es un mosaico de caracteres bacterianos y archaeanos.**

Los trabajos de Carl Woese utilizando la secuencia de ARN ribosómico 16S (Woese y Fox 1977; Woese et al. 1990) condujeron a la idea de un árbol de la vida, presente hoy en todo libro de texto (Fig. 1a), en que los tres dominios de bacterias, archaeas y eucariotas estarían filogenéticamente relacionados, con archaea divergiendo tempranamente de bacterias y eucariotas divergiendo posteriormente de archaeas.

En este marco, la adquisición de mitocondrias, y posteriormente cloroplastos en células capaces de fotosíntesis, respondería al establecimiento de simbiosis entre un organismo con características eucarióticas y diferentes bacterias que posterior-



**Fig. 1.** Representación esquemática del árbol de la vida de tres dominios de Woese (A) y del árbol de dos dominios (B) surgido a la luz de evidencias recientes surgidas de diferentes fuentes.

mente devendrían en mitocondrias y plastos. Ello ha dado lugar a diferentes modelos implicando a diferentes partenaires pero teniendo en común la adquisición de los precursores de mitocondrias y plastos por un protoeucariota. A ello volveremos en la siguiente sección.

Con la posibilidad de secuenciar fácilmente genes y genomas ha resultado evidente que el propio núcleo eucariótico presenta una composición génica que podría considerarse como un mosaico de la composición génica de los dos dominios procarióticos. Así, los eucariotas presentan genes que se pueden situar filogenéticamente próximos a genes bacterianos y otros que se pueden situar filogenéticamente próximos a genes archaeanos. Entre los primeros se sitúan muchos genes implicados en funciones metabólicas (genes operacionales) y entre los segundos, genes implicados en procesos de replicación, transcripción y traducción del material genético (genes informativos). Por otro lado, los eucariotas presentan una composición lipídica de sus membranas más similar a la de bacterias que a la de archaeas.

Esta evidencia ha llevado a plantear que no solo mitocondrias y plastos serían consecuencia de un proceso simbiótico, sino que el propio genoma nuclear eucariótico, y en definitiva la propia célula eucariótica, derivaría de la interacción en un determinado momento de la historia de diferentes organismos pertenecientes a los dominios bacteriano y archaeano.

Análisis filogenéticos rigurosos utilizando un número alto de genes han contribuido recientemente a apuntalar este escenario (Thiergart et al.

2012; Williams et al. 2013; Koonin 2015; Raymann et al. 2015) al situar la raíz de los eucariotas dentro de las archaeas y definir un árbol de dos únicos dominios (Bacterias y Archaeas) por contra al árbol de tres dominios de Woese (Fig. 1b).

Así pues, hoy existe un amplio consenso en que la célula eucariótica surge como resultado de un proceso ancestral de interacción entre bacterias y archaeas, cada una de las cuales ha dejado su impronta en el genoma nuclear eucariótico y en el caso de ciertas bacterias, éstas se han transformado en los orgánulos que hoy conocemos como mitocondrias (u otros orgánulos derivados de éstas como hidrogenosomas, mitosomas, etc.) y plastos.

Sin embargo, los posibles partenaires, así como los procesos que conducen al establecimiento de una relación entre bacterias y archaeas han sido y son motivo de debate, existiendo diferentes modelos que tratan de explicar el origen de la célula eucariótica desde diferentes perspectivas.

### Diferentes modelos tratando de explicar el origen de la célula eucariótica

Cualquier modelo que intente explicar el origen de la célula eucariótica debería explicar el origen de los genes de la misma, así como las diferentes características morfológicas de ésta (compartimentalización, presencia de núcleo y sistema endomembranal, composición lipídica, presencia de mitocondrias y plastos, etc.).

Ya hemos visto antes que generalmente hay acuerdo en que mitocondrias y plastos tendrían su origen en diferentes bacterias que establecieron simbiosis con un organismo (eucariota primitivo u otro procariota). En el caso de las mitocondrias múltiples evidencias sitúan a una antigua  $\alpha$ -proteobacteria como su precursor, mientras que en el caso de los cloroplastos, una antigua cianobacteria sería su origen (Martin et al. 2015). Sin embargo múltiples modelos de eucariogénesis sugieren diferentes partenaires de estos precursores y diferentes escenarios.

En principio podríamos distinguir los modelos autógenos, que proponen que el precursor de la mitocondria se incorporaría a un protoeucariota que habría ido adquiriendo las características eucarióticas de forma progresiva a medida que se separaba de la rama archaeana, de los modelos simbiogénicos que proponen una interacción entre dos o más procariotas de la que derivarían las características eucarióticas.

Aunque algunos autores siguen defendiendo modelos autógenos (Forterre 2015), el hecho de que estudios filogenéticos rigurosos sitúen el origen de los eucariotas dentro de las archaea y no como una rama colateral a éstas (Thiergart et al. 2012; Williams et al. 2013; Koonin 2015; Raymann et al. 2015), junto con diferentes evidencias, han llevado a un apoyo mayoritario de los modelos simbiogénicos.

Sin embargo, diferentes modelos han sido propuestos difiriendo en cuan temprano se produce la simbiosis con el precursor de mitocondrias, que y cuantos partenaires intervienen en este proceso, si la simbiosis se produce por fagocitosis o por sintrofia entre diferentes organismos, bajo qué condiciones fisicoquímicas se produce ésta, etc. (McInerney et al. 2014; Martin et al. 2015).

Por lo que respecta al tiempo de adquisición de mitocondrias, los modelos autógenos suponen que la mitocondria se debe incorporar tardíamente a un organismo protoeucariota amitocondriado que habría ido adquiriendo características eucarióticas progresivamente. Estos modelos supondrían que en algún momento debieron existir eucariotas amitocondriados y que estos debieron dejar descendientes de tal manera que hoy cabría encontrar algún linaje eucariótico cuyas células carecerían de mitocondrias. Sin embargo, hoy resulta evidente que en los eucariotas que carecen de verdaderas mitocondrias, orgánulos como hidrogenosomas, mitosomas y otros son derivados de una mitocondria ancestral (Stairs et al 2015).

Así pues, parece que la adquisición de mitocondrias sería un evento más o menos temprano en el proceso de eucariogénesis que iría ligado a

la propia formación de la célula eucariótica como producto de la interacción entre diferentes procariotas.

Por otro lado, entre los diferentes modelos simbiogénicos que han sido propuestos (McInerney et al. 2014; Martin et al.) los hay que han postulado simbiosis seriadas entre una archaea y diferentes bacterias como origen de diferentes compartimentos de la célula eucariótica con una incorporación tardía de las bacterias precursoras de mitocondrias (Margulis 1970), otros han sugerido la fagocitación de una archaea por parte de una bacteria sugiriendo, también en este caso, la adquisición tardía del precursor de mitocondrias (Cavalier Smith 2002), algunos han propuesto escenarios de sintrofia ente archaeas y bacterias diferentes a las precursoras de mitocondrias como origen de los compartimentos de la célula eucariótica con una incorporación tardía de los precursores de mitocondrias (Moreira y López García 1998).

Sin embargo, como hemos visto antes, el hecho de que no existan eucariotas inicialmente amitocondriados, habla en contra de estos modelos que sugieren una incorporación tardía de las  $\alpha$ -proteobacterias precursoras de las mitocondrias.

En la actualidad, y aunque sigue habiendo defensores de los modelos anteriormente discutidos, dos tipos de modelo (Tabla I) parecen ajustarse a la reciente evidencia filogenética que sitúa el origen de los eucariotas dentro de las archaea a la vez que intentan explicar el origen de las particularidades de la célula eucariótica (Lake 1988, Martin y Müller 1998), implicando en ambos casos un origen temprano de las propias mitocondrias.

Los modelos que podríamos denominar como del eocito (Lake et al 1984; Lake 1988) proponen la fagocitación de una  $\alpha$ -proteobacteria por una archaea compleja como origen de la propia complejidad de la célula eucariótica, mientras que los modelos basados en la denominada hipótesis del hidrógeno (Martin y Müller 1998) proponen una sintrofia entre una archaea metanógena y las  $\alpha$ -proteobacterias precursoras de mitocondrias, situando la propia adquisición de la mitocondria como el origen de la complejidad eucariótica.

Los modelos basados en el eocito surgen inicialmente como un intento de explicación tanto de la estructura del ribosoma eucariótico como del propio núcleo (Lake et al. 1984) y se han ido desarrollando a medida que nuevas evidencias han ido surgiendo (Lake 2015), de tal manera que en la actualidad podrían englobarse en el modelo de anillo de la vida de James Lake (Rivera y Lake 2004; McInerney et al. 2015).

**TABLA 1.** Similitudes (azul) y diferencias (rojo) entre dos de los modelos de eucariogénesis mas ampliamente aceptados.

	Modelo del Ecito	Modelo del hidrógeno
Proceso originario	Relación simbiogenética entre bacterias y archaeas	Relación simbiogenética entre bacterias y archaeas
Relación entre los partenaires	Fagotrófica	Sintrófica
Partenaire bacteriano	$\alpha$ -Proteobacteria	$\alpha$ -Proteobacteria
Partenaire archaeano	Archaea compleja conteniendo muchos de los genes y rutas considerados típicos de eucariotas	Archaea metanógena y dependiente de hidrógeno, no necesariamente compleja
Adquisición del precursor de mitocondrias	Temprana. Coincidente con el origen de la relación	Temprana. Coincidente con el origen de la relación
Origen de la complejidad eucariótica	Presente en el partenaire archaeano	Desencadenada por la adquisición de la $\alpha$ -proteobacteria que devendrá en mitocondria

Como hemos comentado básicamente consisten en la propuesta de la fagocitación de una  $\alpha$ -proteobacteria por una archaea compleja poseyendo una gran parte de los genes y rutas que se han considerado como característicos de eucariotas. Según estos modelos, la  $\alpha$ -proteobacteria no sería digerida, permaneciendo como un endosimbionte capaz de aportar la capacidad de utilización de oxígeno, y más tarde se convertiría en un orgánulo transfiriendo la mayoría de sus genes al genoma nuclear procedente de la archaea en un proceso conocido como transferencia génica endosimbiótica (Ku et al. 2015).

El descubrimiento reciente de un grupo de archaea, compuesto por Taumarchaeota, Aigarchaeota, Crenarchaeota y Koriarchaeota (TACK) muy próximo filogenéticamente a los eucariotas, y en cuyos genomas se han encontrado la mayoría de los genes característicos de éstos, aunque distribuidos entre los diferentes genomas de los componentes del grupo (Koonin y Yutin 2014), y más recientemente el ensamblaje del genoma de una archaea hasta ahora no aislada ni cultivada a través de técnicas de metagenómica en una fuente hidrotermal, denominada como Lokiarchaeota, y que posee en un único genoma muchos de los genes y rutas característicos de los eucariotas (Spang et al. 2015) han supuesto un importante apoyo para este tipo de modelos.

Sin embargo la escasez de evidencias de la capacidad fagotrófica de las archaea ha supuesto también una crítica importante a este tipo de modelos.

Por otra parte, el modelo del hidrógeno (Martin y Müller 1998) propone una sintrofia entre

archaeas metanógenas y las  $\alpha$ -proteobacterias anaerobias facultativas que luego devendrían en mitocondrias, y no implica la existencia de procesos fagotróficos ni requiere de una especial complejidad de las archaea sintróficas. Según este modelo, la complejidad morfológica de la célula eucariótica se adquiriría posteriormente facilitada por la propia adquisición de mitocondrias que aportaría la energía necesaria para la correcta expresión de los genes del nuevo y complejo genoma (Lane y Martin 2010).

La identificación en el genoma recientemente ensamblado de Lokiarchaeota (Martin et al. 2016; Sousa et al. 2016) de una ruta metabólica directamente relacionada con la producción de metano parece confirmar una de las predicciones del modelo del hidrógeno, el carácter metanógeno e hidrógeno dependiente de las archaea que intervinieron en el proceso de eucariogénesis.

Por otro lado, el descubrimiento reciente de la producción de vesículas secretoras a partir de la membrana externa (OMVs) de las bacterias lleva a los proponentes de este modelo (Gould et al. 2016) a sugerir la posibilidad de que vesículas de este tipo, secretadas por las alfa proteobacterias precursoras de mitocondrias contribuirían al desarrollo del sistema endomembranal de la célula emergente del proceso simbiótico, incluyendo el propio núcleo, lo que explicaría a la vez el mayor parecido entre las membranas eucarióticas y bacterianas que entre aquellas y las de archaea.

El hecho de Lokiarchaeota sea un organismo hipotético, solo conocido por el genoma ensamblado a partir de una muestra ambiental y por el momento no cultivado, supone un hándicap a la hora de decidir cuan complejo pudo ser el



componente archaeano del proceso simbiótico conducente a eucariogénesis. En este sentido, el descubrimiento de nuevas archaea relacionadas con el grupo TACK y con Lokiarchaeota y sobre todo, la posibilidad de poder cultivar en el laboratorio e identificar estas nuevas líneas archaeanas podría ser de gran ayuda para decidir entre estos dos modelos.

Precisamente mientras este artículo está terminando de escribirse, un nuevo estudio publicado en *Nature* (Zaremba-Niedzwiedzka et al. 2017) presenta los genomas ensamblados por técnicas de metagenómica de nuevos grupos de archaea que junto con Lokiarchaeota y Thorarchaeota (Seitz et al. 2016) los autores incluyen en un nuevo Superphylum. Un análisis filogenético detallado agrupa de forma robusta a este Superphylum con los eucariotas en un agrupamiento que tendría como grupo hermano el grupo TACK de archaeas.

El análisis de los genes contenidos en los genomas de estos grupos aporta pues nuevas claves acerca del posible origen archaeano de los eucariotas. Aparte de compartir muchos de los genes descubiertos en Lokiarchaeota y que parecen ser contrapartida de genes eucarióticos, lo que es muy interesante es que en este grupo están presentes la mayoría de genes que tienen que ver con el tráfico a través de membranas, sugiriendo que el origen del sistema endomembranal característico de eucariotas podría estar en el ancestro archaeano y no en las vesículas secretadas por la  $\alpha$ -proteobacteria precursora de las mitocondrias (Gould et al. 2016) como proponen los defensores del modelo del hidrógeno.

Desgraciadamente, como en el caso de Lokiarchaeota los miembros de este Superphylum solo son conocidos por sus genomas y sería necesario verificar que las proteínas codificadas por estos genes son funcionalmente equivalentes a las eucarióticas, por lo que el cultivo e identificación física de estos organismos es un reto pendiente

A lo largo de la mayor parte del desarrollo histórico de la biología evolutiva, los procariontes han estado ausentes del mismo. Los biólogos evolutivos no se han preocupado mucho de las bacterias y los microbiólogos han vivido mucho tiempo al margen de la evolución. Afortunadamente, los trabajos discutidos en el presente artículo muestran que esto ha cambiado mucho en los últimos cuarenta años y que hoy, la aportación de la microbiología a la biología evolutiva es fundamental para comprender procesos como el origen de los eucariotas, un campo que está en plena efervescencia como lo demuestran los importantes trabajos publicados en los dos últimos años, a un ritmo que hace que cuando este artículo vea la luz posiblemente se habrán publicado nuevos trabajos que seguramente aportarán nuevas sorpresas.

## REFERENCIAS

- Cavalier Smith, T. 2002. The phagotrophic origin of eukaryotes and phylogenetic classification of Protozoa. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52: 297-354.
- Forterre, P. 2015. The universal tree of life: an update. *Frontiers in Microbiol.* 6: 717
- Gould, S.B., Garg, S.R. y Martin, W.F. 2016. Bacterial vesicle secretion and the evolutionary origin of the eukaryotic endomembrane system. *Trends in Microbiol.* 24: 525-534
- Koonin, E.V. y Yutin, N. 2014. The dispersed archaeal eukaryome and the complex archaeal ancestor of eukaryotes *Cold Spring Harbor Perspectives in Biol.* 6: a016188
- Koonin, E.V. 2015. Origin of eukaryotes from within archaea, archaeal eukaryome and bursts of gene gain : eukaryogenesis just made easier? *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140333
- Ku, C., Nelson-Sathi, S., Roettger, M., Sousa, F.L., Lockhart, P.J., Bryant, D., Hazkani-Covo, E., McInerney, J.O., Landan, G. y Martin, W. F. 2015. Endosymbiotic origin and differential loss of eukaryotic genes. *Nature* 524: 427-432
- Lake, J.A., Henderson, E., Oakes, M. y Clark, M.W. 1984. Eocytes: a new ribosome structure indicates a kingdom with a close relationship to eukaryotes. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 81: 3786-3790.
- Lake J.A. 1988. Origin of the eukaryotic nucleus determined by rate-invariant analysis of rRNA sequences. *Nature* 331: 184-186
- Lake J.A. 2015. Eukaryotic origins. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140321
- Lane, N. y Martin, W. 2010. The energetics of genome complexity. *Nature* 467: 929-934.
- Margulis, L. 1970. *Origin of Eukaryotic Cells.* Yale Univ. Press. New Haven.
- Martin, W. y Müller, M. 1998. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. *Nature* 392: 37-41.
- Martin, W.F., Garg, S. y Zimorski, V. 2015. Endosymbiotic theories for eukaryote origin. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140330
- Martin, W.F., Neukirchen, S., Zimorski, V., Gould, S.B. y Sousa, F.L. 2016. Energy for two: New archaeal lineages and the origin of mitochondria. *Bioessays* 38: 850-856
- Maynard Smith, J. y Szathmáry E. 1997. *The Major Transitions in Evolution.* Oxford Univ. Press, New York.
- McInerney, J.O., O'Connell, M. y Pisani, D. 2014. The hybrid nature of the eukaryote and a consilient view of life in the Earth. *Nature Rev. Microbiol.* 12: 449-455
- McInerney, J., Pisani, D. y O'Connell, M.J. 2015. The ring of life hypothesis for Eukaryote origins is supported by multiple kinds of data. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 370: 20140323

- Mereschkowsky, K.S. 1909. The theory of two plasms as the basis of symbiogenesis: A new study on the origins of organisms. *Proc. Stud. Imperial Kazan Univ.*. Publishing Office of the Imperial University (en ruso).
- Moreira, D. y López García, P. 1998. Symbiosis between methanogenic archaea and  $\delta$ -proteobacteria as the origin of eukaryotes: The syntrophic hypothesis. *J. Mol. Evol.* 47: 517-530.
- Raymann, K.; Brochier-Armanet, C.; Gribaldo, S. 2015. The two-domain tree of life is linked to a new root for the Archaea. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 112: 6670-6675.
- Rivera, M.C. y Lake, J.A. 2004 The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes. *Nature* 431: 152-155
- Sousa, F.L., Neukirchen, S., Allen, J.F., Lane, N. y Martin, W.F. 2016. Lokiarchaeon is hydrogen dependent. *Nature Microbiol.* 1: Art.16034.
- Spang, A., Saw, J.H., Jorgensen, S.L., Zaremba-Niedzwiedzka, K., Martijn, J., Lind, A.E., Van Eljk, R., Schleper, C., Guy, L. y Ettema, T. J. 2015. Complex archaea that bridge the gap between prokaryotes and eukaryotes. *Nature* 521: 173-179
- Stairs, C.W., Leger, M.M. y Roger, A. J. 2015. Diversity and origins of anaerobic metabolism in mitochondria and related organelles. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140326
- Seitz, K.W., Lazar, C.S., Hinrichs, K.-W., Teske, A.P. y Baker, B.J. 2016. Genomic reconstruction of a novel, deeply branched sediment archaeal phylum with pathways for acetogenesis and sulfur reaction. *ISME J.* 10: 1696-1705
- Thiergart, T., Landan, G., Schenk, M., Dagan, T. y Martin, W.F. 2012 An evolutionary network of genes present in the eukaryote common ancestor polls genomes on eukaryotic and mitochondrial origin. *Genome Biol.* 4: 466-474.
- Williams, T.A., Foster, P.G., Cox, C.J. y Embley, T.M. 2013 An Archaeal origin of Eukaryotes supports only two primary domains of life. *Nature* 504, 231-236
- Woese, C.R. y Fox, G.E. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryote domain: the primary kingdoms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 75: 5088-5090.
- Woese, C.R., Kandler, O. y Wheelis, M. 1990. Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 4576-4579.
- Zaremba-Niedzwiedzka, K., Caceres, E.F., Saw, J.H., Bäckström, D., Juzokaite, L., Vancaester, E., Steitz, K.W., Anantharaman, K., Starnawski, P., Kjeldsen, K.U., Stott, M. B., Nunoura, T., Banfield, J.F., Schramm, A., Baker, B.J., Spang, A., Ettema, T.J.G. 2017 Asgard archaea illuminate the origin of eukaryotic cellular complexity. *Nature* 541: 353-358.

#### Información del Autor

Luis Boto es Científico titular en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Formado en Biología celular, molecular y del desarrollo, ha desarrollado diferentes marcadores moleculares para estudios evolutivos y de conservación y en la actualidad se encuentra interesado en los mecanismos que conducen a evolución reticulada, como transferencia génica horizontal e hibridación interespecífica.

## El Darwinismo de Darwin

**Juan Campos Quemada**

Facultad de Filosofía. Universidad Complutense de Madrid.

E-mail: jcq@fis.ucm.es

### RESUMEN

En este artículo nos proponemos sintetizar los distintos estadios por los que transcurre el pensamiento transformista de Charles Darwin. Comenzamos por repasar los conceptos fundamentales, anteriores y coetáneos a la teorización de Darwin como la variación, la extinción y la adaptación. Continuamos con el repaso secuencial de las distintas especulaciones transformistas que se pueden encontrar en los cuadernos de notas y concluimos estudiando los distintos matices que diferencian el “Ensayo” de 1844 de las distintas ediciones de “El Origen de las Especies”. *eVOLUCIÓN 13(1): 11-32 (2018)*.

**Palabras Clave:** Darwin, Transmutación, Evolución, Adaptación, Selección natural, Variabilidad, Extinción.

### ABSTRACT

This article aims to summarize the different stages of Charles Darwin’s evolutionary thought. It begins with a review of fundamental concepts, both previous and contemporary to Darwin’s theory, such as variation, extinction and adaptation. The article then continues with a sequential examination of the different evolutionary speculations found in Darwin’s notebooks and finishes with a study of the nuances that differentiate the 1844 “Essay” and the successive editions of “The Origin of Species”. *eVOLUCIÓN 13(1): 11-32 (2018)*.

**Key Words:** Darwin, Transmutation, Evolution, Adaptation, Natural selection, Variability, Extinction.

### El Darwinismo de Darwin

*“[...] No dudamos en afirmar que [la hipótesis de Darwin] es tan superior a cualquier hipótesis precedente [la hipótesis del creacionismo] o contemporánea [la hipótesis de Lamarck], en la medida de la base observacional y experimental sobre la que descansa, en su método rigurosamente científico, y en su poder de explicar los fenómenos biológicos, como fue la hipótesis de Copérnico para las especulaciones de Ptolomeo. Pero las órbitas planetarias resultaron ser, después de todo, poco circulares y, como grandioso fue el servicio prestado por Copérnico a la ciencia, Kepler y Newton tuvieron que ir tras él. ¿Y si la órbita del darwinismo fuera un poco circular? ¿Qué pasa si las especies deben ofrecer phænomena residual, aquí y allá, no explicable por la selección natural? Dentro de veinte años, los naturalistas pueden estar en condiciones de decir si esto es o no es el caso; pero de todas formas se le debe al autor de “El Origen de las Especies” una inmensa deuda de gratitud.” (Huxley 1860)*

En esta cita del *Westminster Review* de 1860, Thomas Henry Huxley acuñó el término “darwinismo” como el conjunto de teorías basadas en la hipótesis de Darwin, la cual sostiene que “[...] todas las especies han sido

*producidas por el desarrollo de variedades de poblaciones comunes; por la conversión de éstos, primero en razas permanentes y luego en nuevas especies, mediante el proceso de selección natural [...]” (Huxley 1860).*

No es habitual poder fechar con tanta precisión el nacimiento de un concepto, pero aún es más difícil encontrarlo descrito de forma tan sugerente mediante una analogía, que no sólo anticipa el impacto que tendrá dicho concepto en nuestra forma de ver el mundo sino que se adelanta a él.

Darwin apoya su teoría en dos grandes principios “[...] la Unidad de Tipo y las Condiciones de Existencia: por unidad de tipo se entiende esa concordancia fundamental en estructura, que vemos en los seres orgánicos de la misma clase, la cual es independiente de sus hábitos de vida. En mi teoría, la unidad de tipo se explica mediante la unidad de descendencia. La expresión de las condiciones de existencia, en la que tan a menudo insistía Cuvier, está completamente comprendida en el principio de selección natural. [...] de hecho, la ley de las Condiciones de Existencia es la ley superior; pues, mediante la herencia de las adaptaciones precedentes, incluye la Unidad de Tipo.” (1859).

Así pues, el principio del ancestro común y el principio de selección natural son, para Darwin, los pilares que explican el cambio, la adaptación y la diversidad que presenta el mundo orgánico.

Aunque, lógicamente independientes, estos dos principios están íntimamente relacionados, por eso Darwin confiere primacía al principio de selección natural.

Lo cierto es que Darwin acometió la gran tarea de secularizar el pensamiento biológico y la clave de su éxito fue la capacidad que demostró para reemplazar la estructura argumental de la Teología Natural por una teoría completamente naturalista. Concretamente, Darwin sustituyó el argumento del diseño providencial por un mecanismo ciego, la selección natural, que gracias a su actuación durante inmensos periodos de tiempo podía explicar la transformación de las especies y la adaptación observada de los organismos al medio.

Como veremos a lo largo del artículo, las teorías son entidades históricas (Diez y Moulines 1999). No obstante, cuando se analiza la Teoría de la Selección Natural y el entramado conceptual desgranado especialmente en las seis ediciones de “*El Origen de las Especies*” y en el resto de la obra de Darwin, frecuentemente se suele acometer la tarea bajo el punto de vista que actualmente presenta la teoría (la Síntesis Moderna) o bajo la perspectiva de los detractores de dicha teoría que proclaman sin fundamento su defunción (ver el análisis y la síntesis histórica en Moreno 2003, 2010). Una visión diacrónica puede imponer ciertos filtros conceptuales que condicionen la comprensión de los problemas y retos a los que se enfrentó Darwin para explicar el cambio y adaptación de los seres vivos en el contexto científico y sociocultural de su época.

Este artículo no trata de caricaturizar la historia del darwinismo o de elaborar unas listas de fechas y cuestiones que resuma la historia a modo de prontuario. No se centra en los condicionantes epistemológicos como la naturaleza de la explicación científica en la época de Darwin. El relato histórico comienza describiendo las posiciones previas a la investigación de Darwin y, posteriormente, se vertebra en torno a las diferentes hipótesis exploradas por Darwin en el proceso de su búsqueda de comprensión del cambio, la adaptación y la diversidad de la vida. Si, como se concluye del artículo de Huxley, la Teoría de la Selección Natural conforma el núcleo de lo que se entiende por Darwinismo, lo que se pretende presentar sucintamente en este trabajo son las distintas concepciones del Darwinismo de Darwin.

### **El tiempo profundo en la Gran Escala del Ser: sobre la variación y la extinción de las especies en relación con la adaptación**

*Sobre la variación de los organismos en la tradición filosófico científica de la Ilustración*

Durante el Siglo de las Luces, se presentó un impulso organizador del conocimiento entre los



**Fig. 1.** *La Gran Cadena del Ser*, Fray Diego de Valadés, *Rhetorica Christiana*, 1579.

naturalistas que encontró expresión impresa en las grandes obras de historia natural. Esta búsqueda de sistematización, que ya no estaba guiada por los motivos utilitaristas del pasado, puso al descubierto las dificultades para encontrar un único criterio interno bajo el que se pudiera organizar el mundo biológico. La concepción filosófica de un orden universal se basaba en tres principios ya formulados en la obra de Leibniz: plenitud –todo lo posible se puede encontrar en la realidad-, continuidad – *natura non facit saltus* - y gradación – jerarquización del mundo orgánico en una *scala naturae* - (Lovejoy 1983) (Fig. 1). Esta concepción aplicada a los seres vivos influyó de forma determinante en la manera de inventariar los organismos, invitando a los naturalistas a buscar los especímenes de transición que completaran, sin resquicio, todos los peldaños de la escala natural obra de la divinidad.

Como apunta González (2004), los taxonomistas del XVIII basaron sus clasificaciones principalmente en la morfología, concretamente en la estructura visible de los organismos, aunque también incorporaron principios de carácter fisiológico. Esta relación entre la estructura y la función mostraba que, a pesar de la preponderancia de una filosofía de tipo mecanicista, seguía presente el finalismo para satisfacer una

explicación completa del orden natural. Además, si tenemos en cuenta que dentro del mecanicismo se aloja el principio geométrico de un orden cosmológico, la explicación teleológica aparece en forma de diseño providencial o, en los odres nuevos de la secularización, en forma de leyes naturales deterministas de origen divino.

En el centro de esta relación entre lo fisiológico y lo morfológico se encuentra el concepto de especie, como clase natural real y elemento fundamental de la taxonomía. Si se procede a la clasificación eligiendo ciertas características como distintivas, entonces el problema es evaluar hasta qué punto dichos caracteres representan la esencia de los organismos a clasificar. Se emplearon dos estrategias principales para diferenciar las especies: uno basado en la reproducción, clasificación natural, y otro fundamentado en la semejanza de caracteres observables compartidos, clasificación artificial. En conclusión: “[...], lo que convierte a la especie en una referencia privilegiada es que, además de poder ser reconocida atendiendo a las analogías morfológicas, manifiesta su presencia real y su constancia en la naturaleza a través de la sucesión de las generaciones” (González 2004)

Bajo este marco ideológico y conceptual se desarrolló la obra de Carl von Linné (1707-1778), padre del conjunto de reglas que sirven para la denominación binaria latina incontrovertible de los taxones animal y vegetal. El sistema simplificado de Linneo (especie, género, orden, clase y reino) se benefició de la táctica dual de clasificación anteriormente reseñada. En su “*Genera Plantarum*” de 1737), se puede comprobar como Linneo encuentra inspiración en un principio fundamental: la existencia de un orden en el mundo es el reflejo inmutable del plan de un Ser Supremo, en el que “hay tantas especies cuantas ha producido desde un principio el ser infinito” (Jahn et al. 1990). La concepción esencialista y fijista de Lineo se modificó tímidamente en la última parte de su vida debido, entre otros motivos, a que los experimentos de hibridación insinuaban la aparición de especies nuevas, y la relación entre género y especies se planteó en términos de segregación por cruce desde una especie primigenia.

La idea de la posibilidad de transmutación de los organismos era muy antigua, se remonta a la época de Empédocles (s.V a.C.), pero sólo a partir del siglo XVIII encontramos autores que defienden doctrinas evolucionistas concretas. Éste es el caso del segundo periodo en la obra de George-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788). En contraste con las ideas de Linneo, el naturalista francés era un defensor del nominalismo. En el fondo, lo que subyace en el materialismo de Buffon es que “cada uno de estos métodos es, a decir verdad, un diccionario en el que encontramos los nombres en un orden

relativo [...] y, por consiguiente, tan arbitrario como el orden alfabético; pero la ventaja que podemos derivar de ella (clasificación) es que al comparar todos estos resultados encontraremos finalmente el verdadero método, que es la descripción completa y la historia exacta de cada cosa en particular” (Buffon 1749). Por lo tanto, la taxonomía sólo es reflejo de nuestra forma de clasificar y no de la existencia de las especies como clases naturales. No obstante, conforme Buffon avanza en el estudio de los seres vivos en su obra magna, “*Histoire Naturelle, Générale et Particulière*” (Fig. 2), parece entrever cierto realismo en el concepto de especie que define en términos de capacidad de reproducción con descendencia fértil. Si se garantiza la descendencia ininterrumpida, cada especie “hoy es igual que hace tres mil años” (apud. Jahn 1989). En consecuencia, Buffon sostiene claramente una posición fijista: “aunque las diferentes especies de animales están separadas unas de otras por un espacio que la Naturaleza no puede sobrepasar, sin embargo, algunas de ellas se aproximan tanto unas de otras en tantos aspectos que sólo queda espacio suficiente para introducir una línea de separación entre ellos” (Buffon 1749).

Ahora bien, en los casos de hibridación entre distintas especies con descendencia fértil, como en el caso de perros y lobos, el naturalista francés consideró que las especies originarias pertenecían al mismo género, lo que con el



**Fig. 2.** Ilustraciones de Reptiles. Buffon, *Historia Natural de los Cuadrúpedos, Oviparos y de las Culebras* (Madrid, 1848).

tiempo le llevó a suponer que deberían tener un origen común (Jahn 1989). El pensamiento de Buffon ya había madurado hacia el transformismo cuando, en el tomo XIV de su magna obra dedicado a “la Degeneración de los Animales” de 1766, mantuvo que bajo la influencia del medio (clima, alimento, etc.), la especie podían variar. Buffon pensaba que “El gran trabajador de la Naturaleza es el Tiempo”, su uniformidad y sucesión, cambia gradual e imperceptiblemente las cosas, aunque su agregación las torna “perceptibles, y se muestran finalmente en resultados sobre los cuales no puede haber error” (Buffon, vol. 6: 59). Aunque estas variaciones son menos amplias en los animales en estado silvestre que en los domésticos, porque los primeros pueden elegir su comida y el clima (Buffon, vol. 6: 60). El naturalista francés creía que los cruces intraespecíficos aludidos eran capaces de provocar la degeneración de las especies cuyos individuos pertenecen a la misma familia. De este razonamiento es fácil llegar a la “consideración de la transformación de los géneros (*espéces*)” (apud. Jahn 1989). Como queda patente, Buffon defiende la existencia de una causa externa de la variación. Lo cierto es que todos los naturalistas posteriores fueron conscientes de la imposibilidad de sostener una total inmutabilidad de las especies. La cuestión central se formulaba en términos de la posibilidad o imposibilidad de que la variación traspasara ciertos límites. Éstos deberían ser analizados tomando como referencia un concepto de especie resuelto en la tensión entre morfología y fisiología y, en esta pugna, las diferentes teorías se inspiraron en las tradiciones filosóficas del momento.

Además del esencialismo y el mecanicismo biológico, ejemplificados en las figuras de Linneo y Buffon, otra corriente de pensamiento surgió como fruto del idealismo y del romanticismo imperante en Alemania, la biología idealista romántica. El núcleo de su mensaje lo configuró un nuevo tipo de racionalidad diferente al de la Ilustración: una razón sin límite, universal y generativa de la realidad. Se inspiraba en la filosofía trascendental de Kant, a la que despojaba de la “cosa en sí” para fundamentarse en lo construido por el “yo en sí” que no es objeto de la experiencia. Este idealismo subjetivo se objetivó bajo la influencia del monismo de Spinoza, resumido en el *Deus sive Natura*. Wilhelm J. Schelling (1775-1854) considera una “perfecta filosofía de la naturaleza aquella en la que toda la naturaleza se disolviese en una inteligencia [...]” (Von Sydow 2012). Es decir, la consciencia unifica el conocimiento y la naturaleza. En el idealismo de Schelling, la unidad no es estática, sino dinámica: modifica el concepto de finalidad kantiano, como punto de vista desde el que explorar la naturaleza, convirtiéndolo en finalismo como desenvolvimiento de la razón.

Para Schelling la idea de evolución toma su sentido etimológico del que se ha extirpado lo empírico para quedarse con el proceso que culmina con la naturaleza convertida en consciencia.

La “*Natürphilosophie*”, como teorización romántica, sirvió de principio y guía conceptual para generaciones de naturalistas, una vez que éstos atenuaron o prescindieron del desvarío especulativo en favor de la observación y la experimentación. Así, el nuevo conocimiento sobre la naturaleza se enfrentó al paradigma mecanicista, promoviendo una visión unitaria, dinámica y organicista de la naturaleza, en la que se fusionaron las nociones de estructura o forma – donde el todo es más que la suma de las partes – y de transformación. Los frutos de este enfoque idealista romántico pronto se apreciaron en embriología y en morfología. Una aplicación de estas ideas se encuentra, por ejemplo, en el opúsculo elegiaco de Johan William von Goethe titulado “*Metamorfosis de las Plantas*”. El poeta alemán defendió que la unidad dinámica y generativa de la planta, el arquetipo, es la hoja. Es el modelo abstracto que designa “el órgano tan diversamente metamorfoseado y con el que comparar todas las manifestaciones de su forma” (Gould 2004). Es decir, todo se genera a partir de las transformaciones del arquetipo que representa la unidad estructural dinámica. De hecho “*los órganos vegetativos y florales de las plantas, aunque en apariencia disímiles, se originan todos del único órgano, a saber, la hoja*” (Gould 2004). Goethe defiende una primacía de la forma frente a la función que, durante el siglo XIX, se convertirá en la gran controversia de la morfología: para el funcionalismo la función es la que determina la forma mientras que para el formalismo la función se deriva de la forma. Veremos más adelante la incidencia que tuvo este debate en el transformismo, ya que la variación es inherente al concepto de desenvolvimiento o desarrollo del arquetipo.

En resumen, durante el último cuarto del siglo XVIII, los naturalistas eran conscientes de que los organismos presentaban variaciones. Opinaban, siguiendo a Lineo y teniendo en cuenta las excepciones mencionadas, que estas variaciones estaban constreñidas entre ciertos límites infranqueables en los que se suponía una adaptación perfecta.

#### *Sobre la extinción de las especies y su relación con la adaptación*

La cuestión sobre la variación de los organismos tomó un cariz nuevo, bajo la confrontación entre transformismo y fijismo, motivado por el problema de explicar la extinción de las especies evidenciada por el registro fósil sujeta a las restricciones impuestas a la variación, anteriormente mencionadas y basadas en la



**Fig. 3.** Lecciones de anatomía comparada por Albert Cherau.

creencia comúnmente aceptada de la existencia de una adaptación perfecta de los organismos al medio.

Como se indicó al comienzo de este apartado, durante el siglo XVIII y bajo la idea de la Gran Escala del Ser, cuyos principios de plenitud, continuidad y gradación se aplicaron al mundo viviente, se admitía que las especies eran estables y se habían sucedido generación tras generación desde su origen en el momento de la Creación. No obstante, ya desde el renacimiento, como fruto de la práctica minera centroeuropea, era conocida la existencia de fósiles cuya catalogación y descripción no seguían un criterio clasificatorio preciso. Estos restos extintos de seres del pasado representaron varios problemas para la nueva sistemática, a saber: (1) tanto las plantas como los animales fosilizados no correspondían con las especies conocidas, (2) se encontraban ubicados de forma ordenada en estratos que mostraban una discontinuidad de las formas orgánicas, (3) en algunos casos, como el de los fósiles marinos, se localizaban en lugares insospechados como en cadenas montañosas y (4) algunos fósiles procedentes de estratos más recientes, presentaban afinidades morfológicas con especies vivas.

El problema de la extinción constató la íntima relación que existía entre la geología y la historia de la vida en la Tierra. Sin duda, como decía Paolo Rossi “los seres humanos en la época de Hooke (s.XVII) tenían un pasado de seis mil años, aquellos de los tiempos de Kant fueron conscientes de un pasado de millones de años” (Rossi 1979). Este descubrimiento del tiempo profundo, inmenso, fue un producto de la nueva geología en el que debería encontrar acomodo cualquier visión panorámica de la historia natural. Además, la solución al problema de la variabilidad de las especies y de la naturaleza de los fósiles debería coincidir con el relato geológico de la escuela correspondiente.

Los diversos argumentos antievolucionistas y la posición de sus defensores con respecto al

problema de la extinción y la adaptación, se pueden agrupar en dos posturas que corresponden a las dos teorías geológicas principales: el catastrofismo y el uniformismo (Whewell 1832).

En sus “*Lecciones de Anatomía Comparada*” (Fig. 3), Georges Léopold Chrétien Frédéric Dragobert, barón de Cuvier (1769-1832), padre de la paleontología y fundador del catastrofismo, formuló el principio funcional de su morfología como sigue: “*las leyes que determinan las relaciones de los órganos se fundan en su dependencia funcional mutua y en la ayuda que se prestan unas a otras [...]*” (Gould 2004). De ahí concluye Cuvier que “una armonía apropiada entre los organismos que actúan unos sobre otros es una condición de existencia necesaria” y, por lo tanto, “si una de estas funciones se modificara de manera incompatible con cualquier modificación de los otros órganos, dicha criatura no podría existir”. Así pues, la estructura de los seres vivos es un sistema integrado, lo que significa que cualquier cambio en una de las partes del organismo altera el conjunto. Reposando en este criterio, Cuvier propuso cuatro ramas o tipos morfológicos: vertebrados, moluscos, articulados y radiados. Gracias al enfoque funcional de la morfología fue posible comenzar a reconstruir la estructura de los vertebrados fósiles. Además, para el estudio de la naturaleza temporal de las especies, las implicaciones parecen irrefutables: el principio funcional de correlación de órganos se relaciona estrechamente con el concepto de adaptación perfecta, puesto que cualquier sensible alteración del medio, o como lo califica Cuvier “cambio en las condiciones de existencia”, puede llegar a perturbar alguno de los órganos de un ser vivo provocando una reacción en cadena en todo el organismo que lo llevará a la ruina. Por lo tanto, el cambio de las condiciones de vida del organismo puede mostrar cierta holgura, que impone un límite de variación permitido al individuo, más allá del cual, éste perecerá.

De lo expuesto, se puede llegar a dos conclusiones principales: (1) cuando en un lugar encontramos fósiles, el registro estratificado de los mismos se corresponde con el relato temporal de cambios bruscos en la geología y las condiciones de vida en ese lugar – teoría de catástrofes o cataclísmica– que causaron la aniquilación de las formas de vida existentes y (2) el hecho de que no se encuentren formas de transición es una prueba más de que no ha habido transmutación de las especies sino suplantación de nuevas procedentes de otras regiones pues, según Cuvier, no es necesario afirmar “*en absoluto la necesidad de una nueva creación de las especies vivas*” (Jahn 1989). Según Cuvier, otra prueba empírica contra la transmutación procede de los restos de animales momificados del antiguo Egipto. Sin duda, pertenecían a los mismos taxones que las especies actuales. Por lo

que se deduce que no ha habido cambio interespecífico desde aquella época hasta la actualidad.

No obstante, la cuestión que se debía explicar era el origen y naturaleza de los fósiles. La teoría de los cataclismos junto a la teoría de las migraciones dejaban abierta la posibilidad de que existieran grandes zonas de la Tierra sin explorar donde deberían encontrarse las especies supuestamente extintas. Esta respuesta puede parecer a primera vista poco plausible, pero según el Instituto Internacional para la exploración de especies, en la actualidad, cada año se descubre unas 20.000 especies nuevas [URL: <http://www.esf.edu/species/1:07:2017>]. No obstante, la cuestión es que esta solución satisfacía plenamente a los teólogos naturales, pues era inaceptable que se hubiera producido un error en la Creación: los seres vivos mostraban una adaptación perfecta fruto del supremo entendimiento divino. La famosa analogía del relojero, presentada por reverendo William Paley (1743-1805) en su *“Teología Natural”*, defendía el ajuste perfecto entre los organismos y el medio. Como se recordará, el argumento del relojero funciona como un razonamiento inductivo a *posteriori* en el que se establece una analogía entre el diseño o propósito de objetos (el reloj) cuya factura es humana y el diseño del universo que en su infinita complejidad y magnificencia requiere del supremo intelecto divino. Este razonamiento y el propio libro escrito por Paley, texto de referencia en las universidades británicas, se consideraban el canon de la explicación biológica en lo que respecta a la perfecta adaptación de los seres vivos al medio.

Aunque pueda parecer que el relato de los teólogos naturales se alejaba de los procedimientos científicos aceptados en la época, lo cierto es que la solución al problema de la extinción –cataclismos e inmigración de nuevas especies– mostraba lo que los naturalistas, siguiendo el criterio del gran Cuvier, entendían como buena metodología científica: el conocimiento debe apoyarse en el soporte empírico y no se deben formular hipótesis incontrastables, como la creación de especies. Es decir, el naturalista debe dedicarse al trabajo de observación, recolección y catalogación y la teorización, que en general no estaba bien vista, debe evitar cualquier atisbo de especulación.

Ahora bien, ¿hasta qué punto las catástrofes globales constituían una evidencia observacional? y ¿qué explicación se podía aportar en el caso de especies extintas en lugares cuyo aislamiento geográfico hiciera poco plausible la llegada de otras especies? Algunos teólogos naturales y naturalistas en general defendían que, las especies podían surgir de creaciones *ex novo* mediadas por la intervención puntual divina.



**Fig. 4.** Estado actual del Templo de Serapis en Pozzuoli. Frontispicio de los *Principios de la Geología* de Lyell(1830).

En sus *“Principios de Geología”*, Sir Charles Lyell (1797-1875) (Fig. 4) cimentaba su fijismo teísta en tres premisas: (1) el actualismo, los acontecimientos del pasado geológico han sido causados por fenómenos de naturaleza similar a los que operan en el presente (erosión causada por el agua, acción de los volcanes, clima, etc.); (2) el uniformismo, los cambios geológicos lentos y continuos al acumularse causan efectos a escala monumental; y (3) el equilibrio dinámico, el tiempo geológico es cíclico y muestra fases alternas de creación y destrucción, por lo que el estado dinámico de la Tierra es estacionario y su historia, incluyendo en ella a los seres vivos, no es direccional. Estos tres principios se inspiraban en la metodología científica que el astrónomo John Herschel (1792-1871) defendía en sus *“Discursos Preliminares”*. Herschel tomaba como guía la filosofía natural newtoniana y el método hipotético-deductivo baconiano. Concretamente, pensaba que el método científico se debía iniciar con una serie de generalizaciones inductivas desde los hechos particulares a las leyes universales, o axiomas, los cuales comprendían todo el campo del conocimiento. Una vez alcanzadas estas leyes generales, se emprendía la deducción de casos particulares desconocidos (Herschel 1973). Es evidente que el paradigma del método científico lo constituía la física, en especial la mecánica celeste, pues sus



deducciones eran cuantitativas y mostraban una precisión admirable. En su obra "*Philosophia Naturalis Principia Mathematica*", Isaac Newton (1642-1727) enunció las leyes matemáticas generales del movimiento. En ellas estableció que las causas de las aceleraciones que sufren los cuerpos son las fuerzas, entre las que destaca la fuerza de gravitación universal. Lyell explotó al máximo la argumentación analógica con la física newtoniana, de ahí por ejemplo se sigue que el equilibrio dinámico se inspire en el tercer principio de la dinámica o ley de acción y reacción. El objetivo del geólogo escocés fue encontrar la causa externa de las grandes transformaciones de las formaciones geológicas. Esa causa tenía que ser real y actuar ininterrumpidamente de forma fehaciente. Es decir, debería ser una *vera causa* a la manera de Newton.

Lyell también aplicó esta metodología al problema de la extinción y, siguiendo el funcionalismo de Cuvier que afirmaba la existencia de una relación entre órganos y organismo de tipo funcional-morfológico, concluyó que como los seres vivos estaban perfectamente adaptados al ambiente, el cambio continuo y fluctuante de las condiciones de existencia, la incapacidad de algunos organismos para la emigración y la "*nueva relación con especies inmigrantes*" tiene como consecuencia "*que las especies que existen en un período determinado deben, a lo largo de los siglos, extinguirse una tras otra. <<Deben morir>>, para tomar prestada la expresión enfática de Buffon, <<porque el tiempo pelea contra ellos>>*" (Lyell 1832). Este concepto de extinción propuesto por Lyell se aproxima mucho a lo que se entiende por selección natural negativa limitada, actualmente conocido como selección normalizadora. Con el paso del tiempo, en las sucesivas ediciones de los *Principles*, el geólogo escocés llegará a afirmar: "*en la lucha universal por la existencia, prevalece el derecho del más fuerte; y la fuerza y durabilidad de una raza depende principalmente de su fecundidad [...]*" (Lyell 1832).

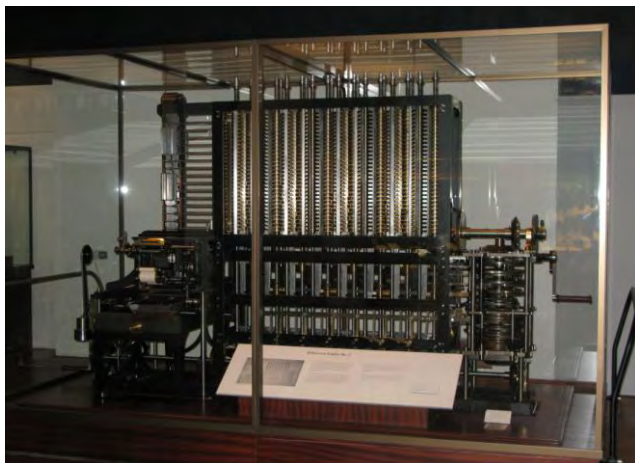
Antes de investigar las leyes generales de introducción de especies nuevas, Lyell pensaba que era menester estudiar las hipótesis que "limitan su duración" y que no dependían de una acción catastrófica como lo sería, por ejemplo, el impacto con un cometa. Lyell explicó *in extenso* la hipótesis de extinción de especies "constante y regular" propuesta por Giovanni Battista Brocchi (1772-1826). El naturalista italiano presentó un argumento analógico entre las causas internas que limitan la longevidad de los individuos y la "energía" vital de las especies. Una vez descartada la hipótesis de Brocchi por falta de evidencia empírica (Lyell 1832) y basándose en el principio de equilibrio dinámico que conduce a los sistemas a la estabilidad en el tiempo, Lyell

consideró que el número de especies se debía mantener constante. De hecho, Lyell pensaba que las especies se formaban independientemente unas de otras en pequeños grupos. Ahora bien, el geólogo escocés se preguntaba si era posible que "nuevas especies puedan ser llamadas a la existencia de vez en cuando, y sin embargo ese asombroso fenómeno pueda escapar a la observación de los naturalistas." Por supuesto, la hipótesis debe "considerar las evidencias que podemos esperar en el estado actual de la ciencia". El equilibrio dinámico impone para Lyell "imaginar la sucesiva creación de especies que constituya, como su extinción gradual, una parte regular de la economía de la naturaleza" (Lyell 1832). Aunque existían otras posibles explicaciones, como la inmigración de especies de otros lugares ya comentada, la experiencia de los naturalistas constataba un descubrimiento continuo de especies nuevas incluso en zonas que ya estaban habitadas por naciones civilizadas. Lo cierto es que la evidencia geológica reflejaba claramente una sucesión de especies en los estratos agrupadas de forma simultánea. Además, el sistema de Lyell debería explicar cómo se había producido la distribución de las especies (Ruse 1983). Sobre todo el caso, no infrecuente, de aquellas especies muy distintas que vivían en ambientes muy parecidos. El argumento básico de Lyell se apoyaba en la ley de tipos sucesivos: siguiendo su modelo geológico dinámico, el movimiento aleatorio de los continentes crea variaciones del clima que inciden en las especies de forma sucesiva, sucediéndose así periodos de creación y extinción de especies. Si bien era consciente de la alta improbabilidad de poder observar la aparición de nuevas especies, Lyell pensó que no se podía descartar la creación de especies que sustituyan a las extintas según las leyes de la naturaleza diseñadas por el Creador.

Esta hipótesis de creaciones sucesivas descartaba la idea de progreso de Lamarck, por lo tanto no hay dirección en la sucesión de especies. Pero el teísmo de Lyell no podía evitar encontrar una excepción a la regla: la aparición del ser humano sobre la Tierra se explicaba mediante un proceso creativo especial e independiente con respecto al resto de los primates. Esta cuestión, como veremos más adelante, también es contraria a la teoría de Lamarck, pues el naturalista francés colocaba al ser humano como cúspide de su sistema progresivo.

Así pues, para todas las especies salvo la humana, se debería buscar una ley natural que mediante una cadena de "causas intermedias", evidenciara el proceso de creación de nuevas especies. El descubrimiento de esta cadena causal desvelaría "el misterio de los misterios" sin necesidad de acudir a la intervención sobrenatural directa, salvo en el caso de los humanos.

Pero ¿era posible encontrar una ley de fenómenos puntuales inesperados? Sir Charles



**Fig. 5.** Máquina Diferencial nº2 basada en los diseños de Babbage y construida por el Museo de Ciencias de Londres en 2002. Pesa cinco toneladas y consta de 8000 piezas.

Babbage (1791-1871) propuso una analogía para explicar la naturaleza causal de fenómenos aparentemente milagrosos: al igual que las máquinas de calcular diseñadas por el mismo Babbage (Fig. 5) mostraban inopinadamente un resultado que se salía completamente de la sucesión prevista, las leyes de sucesos extraordinarios, como la creación de una nueva especie, formarían parte de una ley general que explicaría los eventos irregulares junto a una dinámica regular. La inteligencia divina mostraba su magnificencia al diseñar leyes de lo anómalo. Según Michael Ruse (1983), el argumento de Babbage es muy relevante porque reflejaba el funcionamiento del proceso de secularización: la conversión de los milagros en leyes naturales estaba mediada por analogías mecánicas donde la máquina sustituiría al diseño providencial.

En resumen, Lyell aporta soluciones al problema del registro fósil y la distribución de las especies, mediante un modelo fijista que se puede caracterizar mediante cinco leyes (Castrodeza 1988): (1) las variaciones del entorno pueden modificar (en función y forma) a un individuo pero no ilimitadamente; (2) es posible que la descendencia herede estas modificaciones; (3) la desviación entre progenitor y prole es limitada; (4) cada especie tiene su origen de un grupo inicial y no es posible la mezcla interespecífica; (5) las especies son muy longevas.

Veremos más adelante, cuando Darwin comience sus especulaciones transformistas, cómo influyeron profundamente en su pensamiento estos argumentos de Lyell.

En conclusión, tanto Cuvier como Lyell son exponentes de una visión funcionalista de la morfología que les conduce a un fijismo basado en el concepto de adaptación perfecta.

## Las soluciones transformistas al problema de la extinción

Las cuestiones en torno a los límites de la variación, la adaptación y la extinción se abordaron también desde una óptica transformista.

Para el deísmo materialista de Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829), los principios de plenitud, continuidad y gradualismo, en los que se basaba la armonía de las leyes naturales, son contrarios a la extinción y favorables a una transformación continua y gradual guiada por la intervención del medio: el cambio del entorno impone y el organismo, guiado por su “voluntad interna”, propone soluciones que se adaptan a las nuevas circunstancias. En el proceso de transformación, se mantiene el ajuste perfecto entre el organismo y el entorno en todo momento, es decir, se mantiene la idea de una adaptación perfecta entre el organismo y el medio. La evolución lamarckiana, entendida de forma progresiva, incluiría al ser humano como especie derivada de la transformación del orangután. Como transformista y defensor del tiempo profundo, Lamarck consideraba que era inaceptable la hipótesis catastrofista de Cuvier para explicar la extinción, pues no había pruebas de la existencia de cataclismos de orden universal. Lo único que se podía observar eran “desórdenes locales” cuyos resultados se conocían. Por lo tanto, la hipótesis catastrofista contradecía la evidencia observacional, puesto que la Naturaleza operaba sin brusquedad, lenta y gradualmente. (Lamarck 1986).

El ataque contra el catastrofismo de Cuvier también se produjo desde la biología romántica. Como se dijo más arriba, la *Natürphilosophie* impulsó una visión de la naturaleza, que mostró una especial influencia en morfología donde aparecieron distintas teorías formalistas basadas en el concepto de arquetipo como unidad de forma, dinámica y organicista. A este grupo de morfólogos perteneció, entre otros, Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), quien propuso una teoría de la unidad estructural entre los peces y los demás vertebrados. Como expone Gould (2004), en esa estructura primaria se encuentran las posibilidades de las distintas formas que encontramos en todos los vertebrados y, a pesar de que las modificaciones del arquetipo puedan hacer prácticamente irreconocibles a los órganos - debido principalmente al itinerario adaptativo o a la función correspondiente que realicen-, lo cierto es que la derivación desde la unidad estructural los convierte en homólogos. Por lo tanto, más allá de la forma externa, la homología se reconoce a nivel estructural del órgano por el lugar ocupado por sus partes y sus relaciones.

Las partes pueden transformarse por expansión o contracción, incluso por giro, pero la unidad topológica permanece inalterada (Gould 2004).

El enfoque formalista de Geoffroy tuvo consecuencias importantes en lo que se refiere al concepto de adaptación, pues lo relegó a un papel secundario con respecto a la estructura potencial de los arquetipos: en palabras de Geoffroy “tal es el órgano, tal será su función” (Gould 2004). Además, este antifuncionalismo desembocará en antifinalismo. Como es de sobra conocido, la controversia con Cuvier se agudizó cuando Geoffroy propuso la unidad estructural de los artrópodos y los vertebrados, pues era un ataque en la línea de flotación de la clasificación inalterable de los cuatro diseños principales propuestos por Cuvier: radiados, articulados, moluscos e invertebrados. Como dice (Gould, 2004:333), es importante resaltar que la homología entre vertebrados e invertebrados no tiene por qué tomarse como un argumento fuerte a favor de la evolución de los vertebrados desde los invertebrados pues las alternativas ecológicas ya se encuentran en las posibles transformaciones del arquetipo.

En resumen, podemos concluir que en el primer cuarto de siglo XIX todo naturalista admitía cierta variación en las especies. También había un acuerdo en que la amplitud de la variación era mayor en las especies domésticas que en las silvestres. Sin embargo, no había consenso en cuanto a los límites de dicha variación: la mayoría de los naturalistas pensaban que el límite infranqueable era el interespecífico, dentro de cada especie se asumía una adaptación perfecta entre el organismo y el medio. Además, el problema de la variación se relacionaba estrechamente, mediante el concepto de adaptación perfecta, con el problema de la extinción de especies, evidenciado por el registro fósil. Las teorías geológicas dominantes, el catastrofismo y el uniformismo, y la concepción morfológica de los seres vivos, ya fuera ésta formal o funcional, servían de marcos teóricos explicativos donde se debían analizar las consecuencias que los cambios en las condiciones de existencia imponían a la variabilidad de las especies y a su eventual extinción. En consecuencia, cualquier propuesta transformista o fijista de las especies debería tener en cuenta las conclusiones del debate morfológico y, en general, los resultados derivados de cualquier investigación natural, en especial los de la embriología. Además, para que las teorías evolucionistas pudieran ser reconocidas por la comunidad investigadora, deberían satisfacer las condiciones imperantes sobre lo que se entendía como una buena metodología científica. Si se pretendía, por añadidura, incorporar el evolucionismo al ideario común como principio general de la naturaleza, entonces se debería consumir la secularización del pensamiento biológico sustituyendo

el papel del Creador por un proceso fijado por leyes naturales.

## Darwin en busca de su teoría

### La formación de un joven naturalista inglés

El 27 de diciembre de 1831, el bergantín HSM Beagle partió de Devonport (Plymouth), por encargo del Almirantazgo, con el objetivo de acometer trabajos cartográficos en Sudamérica. No obstante, finalmente la misión se amplió convirtiéndose en una circunnavegación del globo que concluiría en Falmouth el dos de octubre de 1836 (Fig. 6).

Como es bien conocido, Charles Robert Darwin era el acompañante del capitán Robert FitzRoy y fue el naturalista de la expedición tras la renuncia del cirujano Robert McKormick en abril de 1832.

Darwin era un caballero de la clase alta inglesa, clérigo y naturalista incipiente que a decir de su mentor, John Stevens Henslow (1796-1861), poseía buenas dotes como coleccionista, era observador y el hombre que precisaba la expedición (Henslow 1831). Para Darwin, Alexander von Humboldt (1769-1859) era el naturalista por excelencia. En sus “Personal Narratives”, Humboldt describe vivamente la geología, geografía, clima, fauna y botánica de aquellos lugares que visitaba. En el relato del naturalista alemán, el paisaje y el paisanaje se encuentran íntimamente entrelazados: la preocupación por la antropología queda inserta en su marco natural, desde las condiciones de vida hasta el estudio de las lenguas y dialectos de las tribus que encontraba en su recorrido. Darwin leyó con fruición la obra de Humboldt en la que halló no sólo inspiración, sino también la idea de que la Naturaleza funciona como una red intrincada de conexiones entre el medio físico y el biológico. Darwin aprendió de Humboldt que, para descifrarla, era necesario interrelacionar todos los resultados que aportaban las ciencias naturales (Sloan 2009).

Además de la obra de Humboldt, parece que el joven Darwin también quedó impresionado por la lectura del libro de Paley, ya mencionado, “*Teología Natural*”, y por el ensayo de metodología de la ciencia “Razón preliminar para



**Fig. 6.** Barlow, Nora ed. 1945. *Charles Darwin y el Viaje del Beagle*. London, Pilot Press.

el estudio de la filosofía natural” del newtoniano John Herschel (Castrodeza 1988) a quien pudo visitar personalmente cuando el Beagle realizó escala en el Cabo de Buena Esperanza, donde se encontraba el astrónomo inglés finalizando el catálogo de estrellas del hemisferio sur. Este manual de principios y métodos de la ciencia introdujo a Darwin en la doctrina de la vera causa. Como la causa de la transformación de las especies no era observable, Darwin encuentra, mediante la analogía con la selección artificial, una causa verdadera análoga, es decir empírica, que explica la transformación gradual, la adaptación, la extinción y la divergencia de las especies.

Estas dos obras, que acabamos de citar, formaron parte del bagaje intelectual de Darwin, que comenzó en Edimburgo en octubre de 1825. En su Universidad, cursó estudios de medicina, pero nunca los llegó a concluir debido a la aversión que le causaron las prácticas de disección y, especialmente, las sesiones a las que acudió en el teatro de operaciones del hospital (Darwin 1887). No obstante, en la capital escocesa, se produjo la primera incursión profesional de Darwin en la historia natural: su interés por los invertebrados, culminó con su primer artículo, merced a la investigación que realizó en colaboración con el zoólogo y anatomista Robert Edmond Grant (1793-1874), seguidor tanto del transformismo de Lamarck como de la teoría morfológica formalista de Geoffroy. También, el joven Darwin siguió con entusiasmo las clases prácticas de química de Thomas Charles Hope (1766-1844). Probablemente, durante ese curso, Darwin escuchó por primera vez las teorías geológicas uniformistas y plutonianas del geólogo escocés James Hutton (1726-1792). Recordemos que la teoría neptuniana defendía que el origen de las rocas y los estratos se remontaba al origen de la creación. Su procedencia era fruto de la acción del agua y la subsiguiente cristalización de minerales en los océanos. La teoría plutoniana proponía que el origen de los estratos se derivaba de la acción del calor producto de la actividad volcánica.

Darwin asistió también a las lecciones de historia natural sobre fósiles, geología y clasificación de Robert Jameson (1774-1854), que era discípulo del neptunista Abraham Werner (1749-1817). En las conferencias del ornitólogo John James Audubon (1785-1851), Darwin aprendió sobre los hábitos de las aves de América del Norte y fue instruido en el uso de alambres con los que fijar a los especímenes para facilitar su estudio (Darwin 1958).

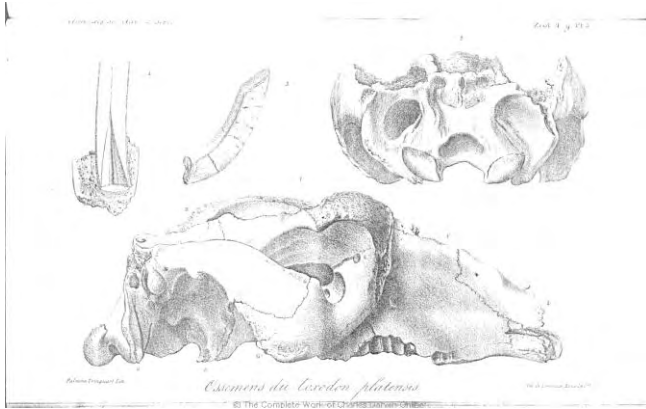
El joven Darwin completó su formación como naturalista en Cambridge. En esta universidad inglesa, conoció al filósofo de la ciencia y catedrático de mineralogía William Whewell, de quien aprendió otra metodología científica complementaria a la de Herschel para establecer una causa verdadera, el método de las

confluencias: si las causas no son accesibles, para poder encontrar una *vera causa*, las distintas disciplinas o áreas científicas pueden confluir en un mismo principio, la misma causa, del mismo modo que los movimientos celestes y terrestres se pudieron deducir de los mismos principios de la mecánica (Lose 2006). Como se observa en la estructura del *Essay* de 1844 y de *El Origen de las Especies*, Darwin combinó las metodologías de Herschel y de Whewell para que su “largo argumento” proporcionara una explicación científica admisible en su época.

Darwin acudió a las clases de botánica de Henslow y se aficionó a la geología gracias al magisterio de Adam Sedgwick (1785-1873), partidario del catastrofismo, con quien realizó una excursión a País de Gales que transformó su antigua aversión a la geología en verdadera pasión.

Así pues, el joven Darwin emprendía el viaje en el Beagle con el objetivo de investigar los aspectos de la historia natural que más le habían interesado y de cuyo conocimiento se sentía más preparado: la geología y los animales invertebrados (Bowler 1990). Como naturalista, Darwin recolectó especies y apuntó sus impresiones sobre la geografía, el clima, la geología, la fauna y la flora de aquellos sitios que pudo explorar. También teorizó sobre las relaciones entre el mundo animal y vegetal derivadas de sus observaciones sobre el origen del coral, gracias a los cuales publicó una teoría sobre la formación de los relieves coralinos. Además, especuló en torno a la formación de las grandes cordilleras andinas y su relación con la aparición de la vida (Sloan 2009). Todos estos trabajos quedaron reflejados en su estudio “*Observaciones Geológicas de Sudamérica*” de 1846, y, principalmente, en su “*Diario de Investigaciones*” publicado en 1839. Debido a su popularidad, es importante resaltar que este último relato es una reelaboración del material anotado cuando el naturalista inglés ya había abrazado el evolucionismo. Por eso, no se puede apreciar una transición explícita entre el pensamiento de Darwin antes de escribir el Diario de Investigaciones y después (Sulloway 1985). A esta conclusión se ha llegado después de un profundo estudio historiográfico que se puede seguir en Sulloway (1985), Castrodeza (1988) y Hodge (2009). Parece existir un total consenso entre los académicos en que, por ejemplo, en contra de lo que se suele divulgar, la famosa expedición de Darwin a las Galápagos no suscitó la conversión automática del naturalista a las tesis del transformismo.

Teniendo esto en cuenta, dos son los hitos que es necesario destacar sobre la expedición del Beagle para entender el desarrollo del pensamiento de Darwin. Como se ha apuntado más arriba, el primero es la influencia determinante que le causó la lectura de los dos primeros



**Fig. 7.** Owen, R. 1838. Descripción de una mandíbula inferior y dientes de *Toxodon* encontrados en Bahía Blanca, en la costa oriental de América del Sur. *Annales des Sciences Naturelles*.

volúmenes de los Principios de Geología de Lyell. Durante el viaje –en agosto de 1835-, Darwin ya se había convertido en “un ferviente discípulo de la concepción de Mr. Lyell, como se da a conocer en su admirable libro” (Bowler 1990). Es decir, Darwin se proclamaba partidario del uniformismo y actualismo en geología. Esto significa, además, una adhesión a la metodología científica de Lyell, que utilizará de modelo cuando emprenda la teorización sobre la historia de la vida. Por último, pero no menos importante, en el segundo volumen de los “*Principios de Geología*”, Darwin estudiará las distintas soluciones al problema de la extinción y las ideas evolucionistas de Lamarck a través de la exposición crítica de Lyell ya comentada.

El segundo hito está relacionado con varias expediciones que, una vez Darwin estuvo de vuelta en Inglaterra, serían importantes en sus especulaciones transformistas: (1) en la Pampa, donde encontró una especie desconocida de ñandú que compartía hábitat con el ñandú común; (2) en sus expediciones por el sur del continente americano – una desde Bahía Blanca a Buenos Aires y otra posterior a la Patagonia-: en la primera, recolectó fósiles similares a algunas especies vivas como armadillos, dos ejemplares gigantes –uno de un oso (*Megatherium*) y otro de un roedor (*Toxodon*) (Fig. 7)- y, en la segunda, los restos de un tipo de camélido primitivo (*Macrauchenia*); y (3) su famosa estancia en las Galápagos.

El 15 de septiembre de 1835, el Beagle fondeó en el archipiélago de las Galápagos, un grupo de trece islas de origen volcánico situadas sobre el ecuador a casi mil kilómetros de la costa continental sudamericana. Durante las cinco semanas que duró la exploración de las “Islas Encantadas”, nombre misterioso que asignaron los españoles a las Galápagos debido a la niebla que cubría las islas durante la mitad del año, Darwin demostró lagunas en su conocimiento de zoología (Sulloway 1985), por ejemplo, mostró cierta indiferencia ante las distintas especies de

tortugas gigantes de las Galápagos, a pesar de que el vicegobernador del archipiélago le informó de que podía distinguir con facilidad la procedencia isleña de cada quelonio. Pero el caso más conocido de su descuido como naturalista lo constituye la famosa recolección de los pinzones de las Galápagos: salvo por una referencia sin transcendencia, Darwin no consideró cuestión alguna sobre los pinzones en su diario de viajes. Las discusiones sobre ellos, reflejadas en el “Diario de Investigaciones” en la edición de 1845, son una reelaboración en retrospectiva de su pensamiento una vez se había convertido al transformismo (Sulloway 1982). De hecho, Darwin sólo tomó muestras incompletas de estas aves y, aunque demostró sus buenas habilidades con la taxonomía, se confundió a la hora de clasificarlas: “*lo que evidentemente engañó a Darwin sobre todo en su comprensión de estas aves durante el viaje, es la extraña relación que prevalece entre el pico y plumaje en el grupo.*” (Sulloway 1982).

Paradójicamente, la incapacidad de Darwin para reconocer la diferencia taxonómica entre una variedad y una especie en los pinzones fue un acontecimiento importante en su conversión al transformismo una vez que, ya en Inglaterra, puso las colecciones en manos de especialistas. Según nos relata Castrodeza (1988), Darwin mantuvo una controversia con FitzRoy sobre la categorización de los pinzones: el capitán defendía que la inteligencia suprema del Creador había situado especies distintas para cada isla, mientras que Darwin afirmaba que eran variedades pues no imaginaba a Dios ocupándose de cuestiones de detalle. Tras la incorporación de los ejemplares aportados por FitzRoy, que empeñado en la diferencia específica de cada tipo de pinzó los había recolectado y asignado correctamente su procedencia, el eminente ornitólogo británico John Gould (1804-1881) resolvió la polémica en contra de Darwin: determinó que en la muestra completa de pinzones se podían contabilizar treinta especies de cuatro grupos distintos (Bowler 1990).

Por lo que se ha explicado más arriba, no es de extrañar que Darwin no acertara a diferenciar entre variedad y especie. Como se ha visto, en la época de Darwin se podían seguir dos estrategias para distinguir las variedades de las especies. La primera se conoce como criterio fisiológico de especie: si los individuos de dos poblaciones diferentes eran incapaces de procrear entonces se consideraban especies distintas. Cuando no era posible aplicar este criterio, se utilizaba el segundo basado en la anatomía comparada. Ahora bien, como la última decisión dependía de la opinión de un experto en morfología, este método restaba objetividad a la decisión, pues descansaba finalmente en el principio de autoridad. Para que se pueda entender la dimensión del problema, tal vez sea ilustrativo saber que

actualmente no hay una definición de especie que sea aplicable a todas las disciplinas de la biología. De hecho, si atendemos a la sistemática actual, los llamados pinzones de Darwin se pueden clasificar en catorce especies de cinco géneros (Ericson 2012).

La dificultad para diferenciar variedades de especies es una de las claves relevantes para poder entender el origen de las investigaciones sobre transmutación que emprende Darwin. Conforme avance en su idea transformista irá abandonando un concepto esencialista o tipológico de especie hacia cierto nominalismo. Es decir, con el tiempo parece que Darwin advierte que no es posible definir la especie como una categoría o clase natural y que los distintos niveles de clasificación no reflejan una existencia objetiva. Esta cuestión ha suscitado una interesante controversia metafísica entre Ernst Mayr y Elliott Sober. Mayr defiende que “el genio de Darwin” consiste en reemplazar el esencialismo platónico de sus antecesores, en el que sólo las especies son “reales”, por el denominado pensamiento poblacional que se centra en la unicidad del individuo como entidad real (Mayr 1992). Contra esta argumentación Sober defiende que el pensamiento esencialista tiene como fin encontrar un orden en un grupo que muestra variaciones individuales. El marco de esta propuesta es aristotélico: existe un estado natural para cualquier ente y la variación es fruto de fuerzas perturbadoras. Sober propone que el pensamiento poblacional es pensamiento estadístico y sólo en el momento que el pensamiento estadístico trata la variación como algo real, es decir sujeto a leyes y a la causalidad, estamos ante pensamiento poblacional (Ariew 2008). Ésta sería la posición mantenida por Francis Galton (1822-1911), primo de Darwin y uno de los fundadores de la bioestadística. No obstante, como piensa Gayon, el concepto de especie toma significado dentro del pensamiento evolutivo de Darwin y, por lo tanto, está condicionado por cuestiones de tipo pragmático (Gayon 2009). Por eso parece que esta disputa tiene más sentido dentro de un enfoque metodológico bajo el que poder explicar cómo los fenómenos de nivel poblacional emergen de las variaciones individuales (Ariew 2008).

En resumen, los académicos consideran que, durante su viaje alrededor del mundo y seguramente fruto de su condición social y formación, Darwin no sólo era partidario de la estabilidad temporal de las especies, sino que de hecho la propia visita a las Galápagos no hizo más que confirmar esta creencia (Castrodeza, 1988; Hodge 1982, 2009). Como se trasluce en el ejemplo de los pinzones, Darwin empezará a especular sobre el transformismo una vez aparezcan las primeras conclusiones de los especialistas sobre la naturaleza y clasificación de los distintos ejemplares de su colección.

## **El tiempo como motor de la secularización del pensamiento biológico: las soluciones transformistas de Darwin.**

Los historiadores que han analizado el periodo de redacción de los libros de notas de Darwin sostienen que tanto su conversión al transformismo como el descubrimiento del principio de selección natural fueron graduales.

En esta sección, principalmente con la ayuda y guía de Castrodeza (1988) y de Hodge (2009), se van a presentar, muy sucintamente, las distintas teorías transformistas exploradas por Darwin entre 1837 y 1839 en los denominados cuadernos de notas, cuya redacción corresponde a la época en que Darwin se encontraba afincado en Londres. Darwin enunciará distintas soluciones tentativas al problema de las especies, que llegarán a convertirse en lo que denominaría como “su teoría”. Estos pasos intermedios y sus argumentos correspondientes representan guías para entender no sólo su pensamiento posterior sino también toda la tradición autodenominada darwinista.

### **El Cuaderno Rojo: la primera hipótesis transformista**

Charles Darwin introduce sus primeras especulaciones transformistas en el denominado “*Red Notebook*” (RN: 127-131) en torno a marzo de 1837 (Herbert 1980). En este cuaderno, se distinguen claramente dos partes: la primera, redactada durante el viaje del *Beagle*, trata de geología y la segunda, a la que pertenece la referencia apuntada, versa principalmente sobre las especies y su escritura pertenece al periodo londinense.

Como se ha comentado más arriba, en la conversión de Darwin al transformismo tuvo un papel fundamental su dificultad para distinguir entre lo que son variedades y especies. Tras los resultados preliminares de los estudios realizados por el anatomista Richard Owen (1804-1892) y por el ornitólogo John Gould sobre la colección de muestras traídas de Sudamérica, Darwin se pregunta en (RN: 127) sobre la relación posible entre los dos tipos de avestruces encontrados en la Pampa, el ñandú común (*Rhea americana*) y, el ahora llamado, ñandú de Darwin (*Rhea pennata pennata*) (Fig. 8). Darwin no entendía que dos especies tan parecidas compartieran el mismo entorno salvo que la “más grande invade a la menor.- [y se dé un] cambio no progresivo: producido de una sola vez” (RN: 127). Ahora se produce, lo que Castrodeza llama “una solución de emergencia” (1988): en vez de abogar por un cambio gradual imperceptible, al modo de Lamarck, Darwin defiende que sólo quedan dos posibilidades: “Si una especie cambia en otra debe ser per saltum - o las especies pueden perecer.”(RN: 130). Darwin cree que este caso es



**Fig. 8.** *Rhea darwini*. Darwin, C. R. ed. 1841. Birds Part 3 No. 5 *La Zoología del Viaje de H.M.S Beagle*. por J. Gould. London Smith.

idéntico al de la llama actual con relación a los restos del espécimen extinto de llama gigante del tamaño de un camello (*Macrauchenia patachonica*), cuya muerte se debía “no al cambio de circunstancias” pues más bien Darwin se siente “*Tentado a creer que los animales [son] creados por un tiempo determinado*” (RN: 129).

Sea como fuere, según la historiografía citada, la primera hipótesis transformista de Darwin es saltacionista: las especies surgen “*per saltum*”, se desarrollan y mueren siguiendo la hipótesis de Brocchi más arriba comentada.

Las reflexiones transformistas del RN continúan y se afianzan en el cuaderno B, donde Darwin aboga decididamente por el transformismo e incorpora la famosa metáfora del árbol de la vida.

### **El Cuaderno B: el árbol de la vida y la segunda hipótesis transformista**

Darwin titula este cuaderno B como “*Zoonomia*” en clara alusión a la obra transformista escrita por su abuelo en la que se defiende la idea de generación gradual de todos los seres desde un filamento vivo (Darwin 1794). El libro de Erasmus Darwin (1731-1802), inspirado especialmente en la obra de Buffon y en el idealismo alemán, se fundamenta en la teoría de la recapitulación, que combina las nociones de transformación y de arquetipo. Esta

teoría, conocida como la “*ley del paralelismo de Meckel-Serres*”, se puede resumir en el *dictum* haeckeliano “*la ontogenia recapitula la filogenia*”, es decir, el desarrollo embriológico del individuo recapitula el de la familia de los organismos.

Aunque en la época de redacción del cuaderno B, la ley del paralelismo ya había sido desbancada por la teoría epigenetista de Von Baer (1792-1876) - la ontogenia parte de lo general hacia lo particular -, la especulación transformista de Darwin se enmarca aceptando tanto la ley de la recapitulación (B:1) como las leyes de la herencia: (1) las características de los descendientes son mezcla de las características de los progenitores; (2) los híbridos tienden a tomar las características de uno de los progenitores y (3) los cruces consanguíneos y la hibridación tienden a la pérdida de la fertilidad.

Darwin defiende que el origen de la variación en los seres vivos jóvenes se produce “*de acuerdo a las circunstancias*” (B: 3), pero las especies permanecen constantes debido a la “*hermosa ley de los matrimonios*” (B: 5). No obstante, no cabe duda de que la imposibilidad de emigración provoca que “*los animales en islas separadas deben ser diferentes si se mantiene el tiempo suficiente, aparte de las circunstancias ligeramente diferentes*” (B: 7).

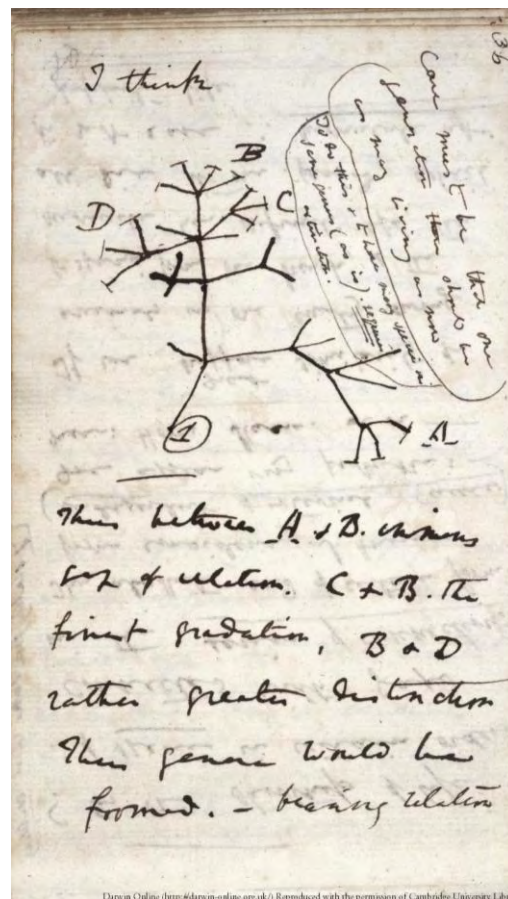
Darwin concluye que la transformación de los organismos es efectiva, por ejemplo en una isla, cuando los individuos que se desplazaron a ella desde el continente formaron grupos que permanecieron aislados. Entonces, al variar las condiciones del medio, la reproducción endogámica (B: 2-9) entre ellos no sólo evitaría la homogenización por mezcla de caracteres sino que favorecería la transmisión de una adaptación perfecta que al paso del tiempo llevaría a la divergencia de las variedades así formadas (B: 9-17). Así pues, como afirma Castrodeza (1988) Darwin explicita su visión transformista en (B:46): “*la condición de cada animal se debe en parte a la adaptación directa y en parte a la marca hereditaria*”.

Como relata Hodge (2009), en el inicio del cuaderno B, Darwin parece seguir la primera parte de la exposición que hace Lyell sobre la teoría de Lamarck en la que se defiende que “*las características de los descendientes de padres comunes podrían desviarse indefinidamente de su tipo original*” (Lyell 1832). Ahora bien, como Darwin sigue pensando que las especies cumplen la ley de Brocchi (Castrodeza 1988), esto implica que las mónadas –filamentos originales- tienen una existencia definida y su destino depende de su situación accidental: cuantos más cambios sufra en su vida con más rapidez perecerá (B:22). Además, con el aislamiento “*cada [tipo de] animal sucesivamente se ramifica en distintos tipos de organización*” (B:19). A esta altura del cuaderno B, lo que todavía no se aclara es si el

proceso de transformación sigue siendo saltacionista como se propuso en RN (Castrodeza 1988). Se debe esperar a (B: 239) para encontrar un rechazo a la discontinuidad y una apuesta firme por el cambio gradual que será una de los compromisos defendidos con obstinada firmeza por Darwin. Así mismo, Darwin propone que “*los seres organizados representan un árbol ramificado irregularmente*” en el que “*tantos brotes terminales mueren como los que nacen*” [B: 21] (Fig. 9). Así pues, inscrito en “el coral de la vida” se encuentra la extinción de las especies mediante un proceso de selección natural negativa, que se produce cuando los organismos, las variedades o las especies no están adaptadas perfectamente a las nuevas condiciones que dicta un entorno cambiante (B: 35,153). Como apunta Castrodeza (1988), este concepto de selección natural negativa o conservadora, que no implica competencia intraespecífica, ni direccionalidad, ni variación ilimitada, era ya conocido por sus coetáneos (por ej. el naturalista Edward Blyth (1810-1873), Lyell, etc.): los organismos que no muestran una adaptación perfecta perecen (B: 90).

En este momento es importante resaltar, como se explicó en la introducción, que la hipótesis del ancestro común, que lleva al principio de la Unidad de Tipo, y que se ejemplifica vivamente en la imagen del “árbol de la vida”, es independiente del mecanismo responsable del cambio. Es decir, puede existir un ancestro común sin que las especies actuales evolucionaran por selección natural y puede haber selección natural sin que sea necesario el que todas las especies procedan de unos pocas especies primigenias. No obstante, existirá una relación interna estrecha entre estos dos principios que, junto a otras hipótesis secundarias, completarán la explicación darwinista de la evolución por selección natural. En ella se esclarecerá no sólo el origen del cambio y la adaptación, sino también el origen de la diversidad biológica y la relación entre los organismos extinguidos y las especies actuales.

En resumen, la segunda hipótesis evolutiva de Darwin deducida del cuaderno de notas B, sostiene que la transmutación gradual de las especies se debe a un efecto combinado de la reproducción endogámica en situación de aislamiento cuando cambia el entorno. Las especies actuales son descendientes con modificaciones de las mónadas primigenias en un proceso de ramificación en el que las especies intermedias se extinguieron mediante un proceso de selección natural negativa entendido de la siguiente manera: aquellos organismos que no se encuentran adaptados perfectamente, sucumbirán.



**Fig. 9.** El árbol de la vida. Darwin, C. R. Notebook B [Transmutation of species (1837-1838)]

### El argumento malthusiano, el concepto de adaptación relativa y el papel de la variación aleatoria e independiente de las exigencias del ambiente

En el cuaderno C, Darwin explora la teoría lamarckiana en la que se sostiene que el uso crea la estructura: “las circunstancias influyen sobre la forma y organización de los animales” (Lamarck 1986) de tal suerte que “[...] el uso frecuente y sostenido de un órgano lo fortifica [...]” de manera proporcional a su duración y “[...] la Naturaleza lo conserva por la generación en los nuevos individuos con tal de que los cambios sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos” (Lamarck 1986).

La teoría de los caracteres adquiridos de Lamarck tomará diverso protagonismo en la teoría de Darwin pero nunca desaparecerá de escena. Además, Darwin también sigue a Lamarck cuando introduce al ser humano como un ser vivo más, fruto de un proceso transformista (C:77-78).



Finalmente, el 28 de septiembre de 1838 en el cuaderno D, Darwin utiliza el argumento de Malthus según el cual “*la población, si no encuentra obstáculos, aumenta en progresión geométrica. Los alimentos tan sólo aumentan en progresión aritmética [...] Para que se cumpla la ley de nuestra naturaleza, según la cual el alimento es indispensable a la vida, los efectos de estas dos fuerzas tan desiguales deben ser mantenidos al mismo nivel [...] Esto implica que la dificultad de la subsistencia ejerza sobre la fuerza del crecimiento de la población una fuerte y constante presión restrictiva. Esta dificultad tendrá que manifestarse y hacerse cruelmente sentir en un amplio sector de la humanidad*” (Malthus 1993). Es decir, la guerra, las hambrunas y las enfermedades reequilibrarán la balanza entre población y recursos. Ahora Darwin aplica esta concepción malthusiana a la relación entre los seres vivos y sus condiciones de existencia para restablecer el equilibrio y armonía que se observa en la naturaleza: “*La causa final de toda esta siega -dice Darwin-, debe ser ordenar la estructura adecuada, y adaptarla a los cambios. [...] Se puede decir que hay una fuerza como cien mil cuñas que intentan penetrar en cada clase de estructura adaptada en las lagunas de la economía de la naturaleza, o quizá mejor forzando resquicios expulsando a los más débiles.*” Como sostiene Castrodeza al comentar la cita de Malthus (1988), Darwin ha encontrado una causa de transformación todavía limitada. Este principio de selección natural es análogo a una “siega” y, por lo tanto, sigue siendo el principio de selección natural negativo que todavía permite la concepción de una adaptación perfecta cuando la variación es limitada: en un ambiente que no cambia, el principio de selección natural negativo cribaría las distintas variedades de una especie ajustando la adaptación al máximo. Con la adaptación perfecta al medio, se detiene el cambio y se establece la estabilidad e inmutabilidad hasta que se produzca una variación del ambiente. Como se ha apuntado más arriba, esta concepción negativa de la selección ya se encuentra presente en otros autores. Los especialistas en la evolución del pensamiento de Darwin creen que en este párrafo, el naturalista inglés alude a la supervivencia de las especies en relación a los cambios físicos del medio y a la lucha entre especies (Castrodeza 1988; Bowler 1990; Hodge 2009).

Ahora bien, para que se produzca una transformación indefinida es necesario que Darwin incorpore a su principio de selección natural el concepto de adaptación relativa, donde la variación entre los individuos de una misma especie es tal que siempre algunos individuos están mejor adaptados que otros y, por lo tanto, la lucha por la existencia toma un carácter indefinido. En la nota 137 del cuaderno E, finalizado en julio de 1839, aparecen tímidamente

las primeras alusiones al papel que juega el individuo dentro del grupo: “*si se produjera una semilla con una ventaja infinitesimal tendría más oportunidades de propagarse*” (Bowler, 1990). No obstante, los académicos (ver Depew y Weber 1995) están de acuerdo en que esta aplicación de la lucha por la existencia al individuo no explicita la competencia entre individuos de la misma población, o lo que es igual, “*no se considera el medio biológico en todas sus dimensiones posibles a un nivel idéntico al físico*” (Castrodeza 1988). De hecho, en los principios que Darwin enuncia en E: 58 sigue siendo el medio físico el responsable principal de la selección.

A la importancia de la adaptación relativa dentro del grupo, se deben añadir otras dos condiciones para completar la Teoría de la Selección Natural: una variación aleatoria e independiente de las exigencias del entorno. Darwin incorporará el azar a su teoría en el cuaderno N –dedicado al ser humano–, en las páginas 42-43. En el cuaderno E páginas 111 y 112, Darwin claramente explicita el papel del azar aplicado a la selección cuando afirma: “*mi principio de destrucción de todas las semillas menos resistentes y la preservación de las accidentalmente resistentes*” (cursiva mía, cit. Castrodeza 1988). El azar también está presente en el origen de la variación. En este aspecto, es importante recordar que la aleatoriedad de la variación de los organismos domésticos ya era conocida por los criadores, pues aparecía con frecuencia en procesos de selección artificial. Darwin atribuye al azar el mismo sentido que los criadores y los naturalistas de su tiempo: la aleatoriedad es una forma de expresar la ignorancia de las causas de las variaciones particulares (Darwin 1859).

En lo que se refiere a la segunda condición, la variación no debe estar condicionada por las exigencias del entorno pues el ambiente podría acabar siendo el director de la evolución como en el modelo lamarckiano. De hecho, como se acaba de advertir, Darwin no conocerá nunca cuál es el origen de la variación. El capítulo cinco del “*Origen de las Especies*” estará dedicado a esta cuestión. En él se barajarán varias hipótesis como la importancia del mecanismo de reproducción (Darwin 1859), la poca relevancia de las condiciones de vida como el cambio de clima, los efectos del uso y el desuso (Darwin 1859), etc. Por lo tanto, la teoría final debe contemplar que la adaptación sucede por mera coincidencia (Castrodeza 1988).

En conclusión, al finalizar el cuaderno E en 1839, Darwin ha encontrado los tres principios sobre los que construirá su teoría: “*(1) los nietos se parecen a sus abuelos, (2) la tendencia a las pequeñas variaciones especialmente con los cambios físicos, (3) gran fertilidad es proporcional al soporte parental*” (E: 58). El principio de selección natural basado en el modelo



**Fig. 10.** Variación de los Animales\_ 1866. Cabeza de Jabalí, y cerdo de la región de Yorkshire.

maltusiano no parece tomar en cuenta todas las condiciones de existencia aplicadas al organismo individual como la competencia entre organismos que pertenecen a la misma especie o grupo. Por eso, hasta que Darwin no abandone el concepto de adaptación perfecta e incorpore a la optimización el concepto de adaptación relativa y la ontología del individuo, la transformación sólo tendrá un carácter limitado, supeditado a la variación del ambiente.

### **Del Ensayo al Origen: la incorporación al entorno de todas las posibilidades del medio biológico**

Como es bien conocido, Darwin escribirá un bosquejo de su teoría en 1842 y un ensayo provisional en 1844. Es importante destacar que en la estructura argumentativa del “Ensayo” aparece el razonamiento por analogía entre la selección natural y la selección artificial (Fig. 10). Es importante constatar que Darwin se interesó desde su viaje en el Beagle por la actividad de los criadores en la mejora de las variedades domésticas y la puso en relación con las silvestres. Este interés aumentó conforme lo

hacían sus especulaciones sobre la transmutación, como evidencia la utilización profusa de la analogía en el cuaderno B. Especial importancia tiene el término “*picked*” (seleccionado) que Darwin utiliza en C: 17 cuando se refiere a que en la naturaleza la progenie no se elige (“*picked*”) “como hace el hombre cuando forma variedades” (Castrodeza 1988). En la página 71 del cuaderno E, queda claro que la analogía relaciona la causa del cambio en las variedades domésticas con la causa del cambio en el mundo natural, pues Darwin afirma que “una hermosa parte de mi teoría implica que las razas domésticas se forman de la misma manera que las especies –pero las últimas mucho más perfectamente e infinitamente más despacio- No hay animal doméstico que no esté totalmente adaptado a las condiciones externas”

Así pues, la estructura argumentativa del “Ensayo” se apoya en la analogía y coincide con la organización de “*El Origen de las Especies*”. En la primera parte: (1) estudia la variación limitada que presentan los seres orgánicos en estado de domesticación gracias al proceso de selección y cruzamiento al que son sometidos por los criadores; (2) analiza el mismo problema para los seres orgánicos en estado salvaje y compara las razas domésticas con las especies, concluyendo que no existe ningún límite en la naturaleza para la variación debido a la eficiencia de la selección en estado salvaje (Darwin 2009); (3) expone las dificultades de la teoría en el caso de los instintos y estructuras corporales complejas. En la segunda parte, aplica su teoría a las distintas ramas de la biología: paleontología, biogeografía, morfología, embriología etc.

No obstante y a diferencia del “Origen”, en el “Ensayo” sigue sin aparecer el concepto de adaptación relativa entre individuos de la misma especie que posibilitaría la variación ilimitada. Recordemos que los naturalistas de su época argumentaban que existía una frontera infranqueable para la variación intraespecífica como demostraba, por ejemplo, el proceso de cría en cautividad. Darwin supuso que la variación es ilimitada aunque su argumento, puramente negativo, es poco satisfactorio, ya que se apoya en el desconocimiento de un mecanismo limitador (Darwin 2009). Darwin parece seguir suponiendo que el cambio importante aunque gradual era el de las condiciones externas. Por lo tanto, Darwin sigue manteniendo un concepto de adaptación perfecta y un estancamiento de la evolución hasta que varíen las condiciones de existencia. El único caso en el que Darwin supone la carencia de adaptación perfecta es la de aquellos organismos que en grandes cantidades emigran a una isla: si el número de estos individuos es enorme con respecto a los adaptados, entonces es indemostrable la imposibilidad de que existan organismos no adaptados totalmente (Castrodeza 1988).

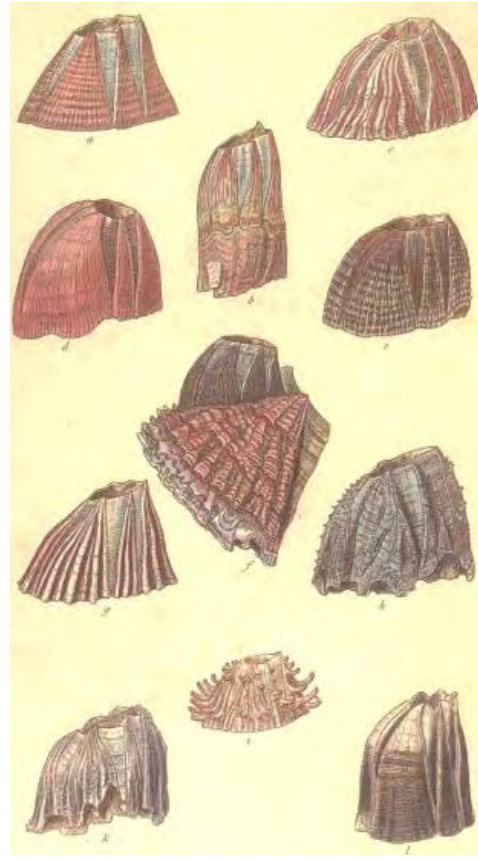
En conclusión, Darwin no ha completado todavía su teoría: la supervivencia y la muerte sigue siendo la principal forma de entender la selección (Darwin 2009), no ha aparecido todavía el individuo darwiniano plenamente en interacción con los otros miembros del mismo grupo y, por lo tanto, la transmutación de las especies puede sufrir estancamientos debido a que está condicionada por un medio que posibilita la estabilidad. Por otro lado, siguen presentes muchas cuestiones que requieren explicación como por ejemplo la dificultad en la adquisición de instintos complejos por selección (Darwin 2009), la especificidad de los organismos que pertenecen a castas sociales, el origen de la diversidad observada en la naturaleza, etc.

En el mismo año en el que Darwin redactó su “Ensayo”, un importante acontecimiento editorial, la publicación anónima en 1844 de “*The Vestiges of Natural History of Creation*”, escrito por el naturalista aficionado Robert Chambers (1802-1871), en la que el autor desplegaba una teoría evolucionista de tipo saltacionista guiada por el entorno mediante causas desconocidas. A pesar de las diferencias con la selección natural, Chambers demostraba a Darwin que, no era descabellado suponer un desarrollo progresivo ininterrumpido. Además, Darwin se dio cuenta de que para ser tenido en cuenta por los académicos, era imprescindible soportar su teoría en una gran evidencia experimental y resolver algunos casos que se resistían a su nuevo marco conceptual.

### La búsqueda de soporte empírico y el camino hacia la adaptación relativa para resolver importantes dificultades

Desde 1844 hasta 1858, como se acaba de exponer, Darwin buscará soluciones a problemas como la necesidad de soporte empírico, soportada parcialmente en la selección artificial; la dificultad de explicar características complejas, como la aparición de los instintos –entre ellos el de los animales sociales y el del ser humano- y el hecho de que los grupos de organismos con más géneros sean los que presentan también más especies.

Darwin logra explicar estos dos últimos casos, la aparición de los instintos sociales y el denominado principio de divergencia, mediante una analogía con la división del trabajo fisiológico propuesto por Henry Milne Edwards (1800-1885) en su artículo de los Anales de las Ciencias Naturales titulado “Consideraciones sobre algunos principios relativos a la clasificación natural de los animales”. En esta obra, el autor mantiene que la especialización de los órganos de un individuo favorece la eficacia en la consecución de las funciones que se deben realizar para su supervivencia del mismo modo que la especialización de la tarea de los obreros en una fábrica posibilita una producción más eficaz. Así pues, Darwin aplica esta analogía al



**Fig. 11.** Darwin, C. R. 1854. Una monografía sobre la subclase Cirripedia, con figuras de todas las especies. Los Balanidæ, (o cirripedes sésiles) Londres The Ray Society. Volumen 2.

problema de la diversidad: los organismos que presentan más variabilidad son aquellos que sobreviven con más probabilidad al igual que aquellos grupos con trabajadores más especializados lograrán asegurarse el alimento con más probabilidad que aquellos grupos cuyos trabajadores están menos especializados.

Como se evidencia de estas analogías, a mediados de los cincuenta, se aprecia con toda nitidez la influencia en Darwin de sus lecturas sobre economía política (Hodge 2009; Depew y Weber 1995). En especial, la tesis que sostiene Adam Smith (1723-1790) en “Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones”, según la cual, el interés individual es la fuente que estimula la mutua competencia y, por lo tanto, se convierte en el motor fundamental de la actividad económica, cuyo fruto es la optimización del bienestar público. Como veremos, esta influencia es importante para comprender el papel que juega en la explicación por selección natural una ontología del individuo.

Darwin aplica las analogías citadas al estudio que emprende sobre los cirrópodos entre 1846 y 1854 (Fig. 11). En este trabajo detallado sobre los percebes se puede encontrar el paso definitivo hacia la variabilidad ilimitada y la importancia del individuo dentro del grupo como agente de la selección. En un grupo, cuyos individuos presentan muchas variaciones, es más fácil

satisfacer las condiciones mínimas de existencia que en un grupo con individuos muy similares. Es decir, cuando el grupo es más diverso, hay menos competencia entre sus componentes y, por lo tanto, la población de dicho grupo aumentará y se preservarán las variaciones. El 23 de septiembre de 1856, Darwin abogó de forma clara sobre la lucha intraespecífica: “*No sólo los individuos de cada grupo se tratan de desbancar entre sí también todos los grupos con todos sus miembros luchan entre ellos*” (apud. Castrodeza 1988). La consecuencia de este razonamiento es inmediata, no se puede dar la adaptación perfecta al medio puesto que siempre existe un desequilibrio ambiental entre el individuo y los otros individuos del grupo. El concepto de ambiente externo o las denominadas condiciones externas biológicas y físicas quedan enriquecidas por la competencia intraespecífica. Ahora no es necesaria una variación del entorno para que se produzca el cambio de las variedades. Esta circunstancia de competencia constante intraespecífica llevará a un proceso de transformación continuo. Así pues, la adaptación de los individuos es relativa y el principio de selección natural puede satisfacer una transmutación indefinida y gradual.

### El Origen de las Especies

Como se ha comentado, la hipótesis de Darwin para explicar el cambio y la adaptación de los seres vivos tomará forma definitiva en las sucesivas ediciones de su obra cumbre, “El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural o las razas favorecidas en la lucha por la existencia”. En la primera edición de 1859, Darwin incorpora explícitamente dos aspectos importantes a la lucha por la existencia. El primero, ya apuntado anteriormente, es la competencia intraespecífica entre individuos del mismo grupo que implica la adaptación relativa y la posibilidad de transformación indefinida. El naturalista inglés toma a cada individuo como entidad central sometida a la lucha por la existencia y jerarquiza este proceso a diferentes niveles: “como los individuos de la misma especie se encuentran en todos los respectos en la más cercana competencia entre ellos, la lucha será más severa entre ellos; será casi igual de severa entre las variedades de la misma especie, y próxima en severidad entre las especies del mismo género” (Darwin 1859).

El segundo aspecto novedoso que se expone en “el Origen” es la defensa explícita de la selección natural como fuerza creadora, gracias por un lado a que Darwin resalta la importancia del éxito reproductivo individual sobre la desaparición de los individuos menos aptos: “Utilizo el término Lucha por la Existencia en un sentido amplio y metafórico, incluyendo la dependencia de un ser sobre otro, e incluyendo (lo que es más

importante) no sólo la vida del individuo, sino el éxito al dejar progenie” (Darwin 1859) y, por otro lado, al lento e incesante escrutinio del proceso de selección sobre las variaciones individuales que generación tras generación y mediante acumulación de “*numerosas, sucesivas y ligeras modificaciones*” explican el origen de órganos complejos. La confianza en este lento y efectivo proceso iterativo es tan grande que afirma taxativamente la “*quiebra absoluta de su teoría*” en el caso de que se demostrara que algún órgano complejo no pudiera ser explicado por este método (Darwin 1859).

### El argumento de Darwin

Aunque el naturalista inglés resume retóricamente su razonamiento en varios pasajes del Origen, por ejemplo en (Darwin 1859: 61, 80-81, 489-490), estos sumarios no son siempre equivalentes. Darwin plantea su argumento apoyándolo siempre en casos particulares. Sin embargo, intenta exponer el argumento al modo de un razonamiento deductivo, a saber, desde las premisas o hechos a la conclusión:

*“Estas leyes, tomadas en el sentido más amplio, son el Crecimiento con la Reproducción; la Herencia que está casi implicada por la reproducción; la Variabilidad derivada de la acción indirecta y directa de las condiciones externas de vida, y del uso y desuso; Una Proporción de Aumento tan elevada como para conducir a una Lucha por la Vida, y como consecuencia de la Selección Natural, que conlleva la Divergencia del Carácter y la Extinción de las formas menos mejoradas. Así, de la guerra de la naturaleza, del hambre y de la muerte, el objeto más exaltado que somos capaces de concebir, es decir, la producción de los animales superiores, se sigue directamente. [...]”* (Darwin 1859).

Son muchos e intrincados los conceptos que en este resumen expone Darwin, por eso parece conveniente presentar la reconstrucción del argumento vestida con las propias palabras de Darwin:

1. Los individuos dentro de las especies varían:

*“El resultado de las diversas leyes de la variación, bastante desconocidas o vagamente vistas, es infinitamente complejo y diversificado. [...] es realmente sorprendente observar los interminables puntos de estructura y constitución en los que las variedades y sub-variedades difieren ligeramente entre sí. Toda la organización parece haberse vuelto plástica y tiende a apartarse en cierto grado de la del tipo parental”<sup>21</sup>* (Darwin 1859).

2. La variación es a veces heredable:

“Cualquier variación que no se hereda no es importante para nosotros. Pero el número y la diversidad de las desviaciones heredables de la estructura, tanto de las ligeras como las de considerable importancia fisiológica, es interminable” (Darwin 1859).

3. La definición de la Lucha por la Existencia y los hechos que fundamentan dicho principio:

“Utilizo el término Lucha por la Existencia en un sentido amplio y metafórico, incluyendo la dependencia de un ser sobre otro, e incluyendo (lo que es más importante) no sólo la vida del individuo, sino el éxito al dejar a la progenie” (Darwin 1859).

“Una lucha por la existencia se debe inevitablemente a la alta tasa a la que todos los seres orgánicos tienden a aumentar. [...] Por lo tanto, a medida que se producen más individuos de los que pueden sobrevivir, debe haber en cada caso una lucha por la existencia, ya sea un individuo con otro de la misma especie, o con individuos de especies distintas, o con las condiciones físicas de vida” (Darwin 1859).

4. Conclusión 1: La definición de Selección Natural

“¿Puede entonces parecer improbable, viendo que variaciones útiles para el hombre han ocurrido indudablemente, que ocurran otras variaciones útiles de algún modo para cada ser en la grande y compleja batalla de la vida durante el curso de miles de generaciones? Si tal cosa ocurre ¿podemos dudar (recordando que nacen muchos más individuos de los que puedan sobrevivir) que quienes tienen ventaja, por ligera que sea, sobre otros tendrían más probabilidades de sobrevivir y procrear su especie? Por otra parte, podemos estar seguros de que toda variación perjudicial en mínimo grado será rigurosamente destruida. A esta conservación de las variaciones favorables y extinción de las perjudiciales la llamo ‘Selección Natural’” (Darwin 1859)

A esta definición de Selección Natural, Darwin también la denomina Principio de Selección Natural.

5. Conclusión 2: Los efectos acumulativos explican la adaptación y la transformación de las especies:

“La expresión de las condiciones de existencia, tan a menudo insistida por el ilustre Cuvier, es plenamente aceptada por el principio de la selección natural. La selección natural actúa adaptando las diferentes partes de cada ser a sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida; o adaptándolas durante períodos de tiempo muy

largos [...]” (Darwin 1859) “[...] Las especies han cambiado y siguen cambiando lentamente por la preservación y acumulación de sucesivas y ligeras variaciones favorables” (Darwin 1859).

Las reconstrucciones del argumento de Darwin y la explicación Darwinista procedente del Origen a veces se han mostrado como un argumento formal lógico deductivo (García 2012). No obstante, para resumir la estructura lógica, es preferible seguir el esquema argumental en la tradición de Julian Huxley (1965) y Mayr (1992:86) (Fig. 12) pues no sólo es uno de los más divulgados sino que se encuentra incardinado en la tradición de autores relevantes en la historia darwinista.

Aunque esta estructura argumental se mantendrá a lo largo de la vida de Darwin, en cada una de las seis ediciones de su obra magna, publicadas entre 1859 y 1871, Darwin era muy consciente de los problemas que permanecían sin resolver y de las críticas más importantes a las que se vería sometida su teoría. A estas importantes cuestiones dedicará varios capítulos de “El Origen de las Especies”. Por esta razón modificará y ajustará paulatinamente su teoría conforme se sucedan las opiniones de sus colegas y al avance de los conocimientos de su época. Conforme hace frente a estas cuestiones Darwin va moderando su creencia en que la selección natural sea un principio causal universal y,

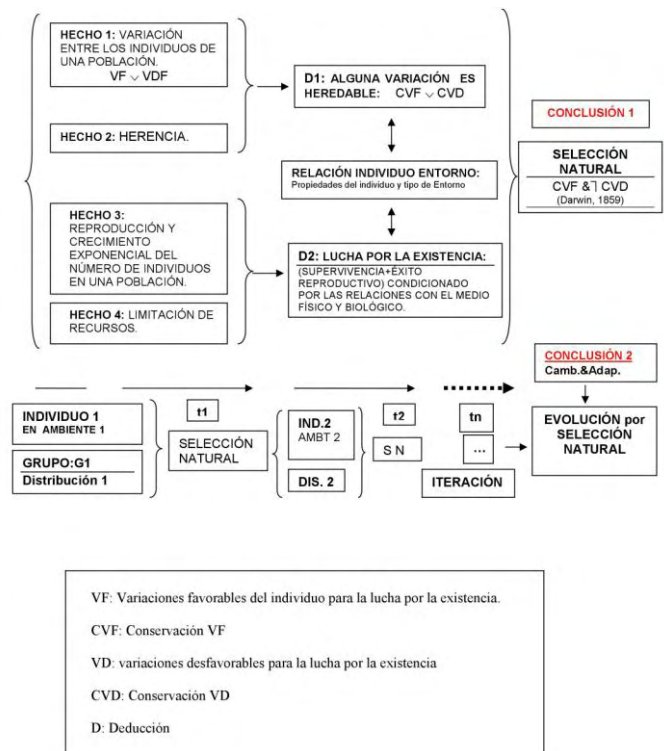


Fig. 12. Esquema del argumento de Darwin inspirado en Mayr (1992).

también, en el pan adaptacionismo. Es especial-

mente interesante el continuo debate que establece con Alfred Russell Wallace (1823-1913), el codescubridor de la teoría, sobre el papel de la selección natural. Como hemos visto, para Darwin el concepto de selección se apoya en la competencia individual y, por lo tanto, el cambio en las condiciones externas tanto físicas como biológicas no es necesario para que se produzca el cambio evolutivo (Darwin 1859). Por el contrario, Wallace piensa que el agente principal de la selección es el entorno (Wallace 1858). Entre otras cuestiones, esta es la razón por la que acepta la selección de grupo y defiende el poder casi ilimitado de la selección natural para producir adaptación. En este último caso, la posición de Wallace contrasta con la importancia que Darwin atribuye a la herencia y al desarrollo como restricción a la fuerza de la selección sobre el individuo. En lo que se refiere a la selección de grupo, Darwin aborda esta cuestión en su libro *“El Origen del Hombre”* (1871). El naturalista inglés se da cuenta de que necesita investigar profundamente la relación entre los niveles de selección para solucionar el problema de la evolución de los rasgos altruistas en las castas de animales sociales como el de la esterilidad de las obreras. La pregunta que se hace Darwin es la siguiente: ¿Cómo explicar por selección natural el comportamiento altruista individual que aumenta la adaptación del grupo a expensas de disminuir la del individuo? Para responder a esta cuestión, Darwin explora la *“community selection”* o lo que ahora entendemos por selección de grupo (por ej. Darwin, 1872). La exposición más clara sobre este problema se encuentra en el libro que Darwin dedica a la evolución humana, donde Darwin sugiere que el comportamiento solidario y sacrificio de algunos individuos de la tribu, aunque sea desventajoso a nivel individual, podría ser beneficioso para el bien común del grupo y, como consecuencia, las tribus que contaran con individuos cuyo comportamiento fuera altruista *“saldrían victoriosas”* sobre las demás tribus (Darwin 1871). Así pues, en ciertos casos, se deja abierta tímidamente la puerta a una selección de grupo.

A modo de conclusión, es posible resumir, *grosso modo*, los distintos estadios por los que transita la teorización de Darwin sobre la solución al *“misterio de los misterios”*:

1. Antes de 1837, Darwin no es darwinista en el sentido moderno del término pues mantiene una posición fijista como la de la mayoría de sus coetáneos.

2. A mediados de 1837, la primera hipótesis de Darwin (1) contempla la transmutación. Especula con el transformismo de tipo saltacionista y considera que las especies se desarrollan y mueren siguiendo la hipótesis de Brocchi.

3. A principios de 1838, la segunda hipótesis de Darwin (2) la transmutación de las especies es de tipo gradual se produce cuando cambia el entorno mediante un efecto combinado de reproducción endogámica en situación de aislamiento sobre el que actúa la selección natural negativa, de tal suerte que se genera una descendencia con modificaciones de forma ramificada donde se extinguen las especies intermedias. Darwin también incorpora la teoría de los caracteres adquiridos de Lamarck, que siempre estará presente con más o menos protagonismo.

4. Desde finales de 1838 y hasta mediados de los cincuenta, la tercera hipótesis de Darwin (3) aboga por el mecanismo de selección: para satisfacer las condiciones mínimas de existencia, Darwin propone que el cambio gradual y la adaptación de las especies son fruto del principio de selección natural basado en el modelo maltusiano de lucha interespecífica que actúa sobre las variaciones que se presentan al azar. Todavía no considera la competencia intraespecífica de individuos y relega a un plano secundario los mecanismos de tipo lamarckiano.

5. La cuarta hipótesis transformista de Darwin (4) tendrá lugar a mediados de los años cincuenta, en torno a la publicación de la primera edición del *“Origen de las Especies”* en 1859. La hipótesis de Darwin (4) es seleccionista: se basa en el modelo maltusiano de lucha por la existencia de los individuos bajo la influencia completa del medio físico y biológico en el que se tiene en cuenta el éxito reproductivo. La adaptación del organismo es relativa (Darwin, 1872), esto significa que unos individuos se enfrentan a las condiciones de existencia mejor que otros. La selección actúa continuamente sobre individuos que presentan variaciones aleatorias y gracias a la reproducción de los individuos, se produce una secuencia iterativa, prolongada durante largas escalas temporales, que lleva a la transmutación gradual y la adaptación de las especies. Darwin sostiene que el proceso de selección natural junto a la hipótesis del ancestro común son los responsables del cambio, la adaptación y la variedad que se observa en la naturaleza. La presencia de otros mecanismos evolutivos siguen en un segundo plano como respuesta a los retos que plantea el desconocimiento del origen de los mecanismos de la variación y de la herencia.

6. La quinta y última hipótesis de Darwin (5) se encuentra parcialmente en la sexta edición de *“El Origen de las Especies”* y, plenamente, en su libro *“El Origen del Hombre”*. En estas dos obras, Darwin acepta un pluralismo ontológico del mecanismo causal, en el que están presentes tres procesos adaptativos –uso y desuso de las

partes, selección sexual, cierta selección familiar (introducida para explicar la evolución altruista de los animales sociales, especialmente el ser humano, y las castas neutras)- y dos procesos no adaptativos -variación dirigida, variación correlacionada (Provine 1985).

En resumen, estos son los distintos estadios por los que transitó la teorización darwiniana. Todos los debates posteriores sobre la evolución han quedado enmarcados en la magna obra del naturalista inglés. Pero, tal vez, lo que es más importante es que el pensamiento de Charles Darwin ha trascendido las ciencias de la vida y ha permeado todo el conocimiento humano contemporáneo produciendo lo que Carlos Castrodeza llama la “darwinización del mundo” (Castrodeza 2009)

### Agradecimientos

Deseo dedicar este artículo a mis dos profesores de historia y filosofía de la biología recientemente fallecidos: José Luís González Recio me enseñó la necesidad de investigar la relación estrecha entre metodología, epistemología y ontología para comprender las teorías científicas y Carlos Castrodeza me descubrió la fascinante cosmovisión darwinista en la que vivimos. Gracias inolvidables maestros por vuestra cálida amistad y excelso magisterio.

### REFERENCIAS

- Ariew, A. 2008. Populational Thinking. *En*: Ruse, M. (ed.) *Philosophy of Biology*. Oxford Univ. Press, New York.
- Barrett, P.H. 1974. Early writings of Charles Darwin. *En*: Gruber, Darwin on man. [Notebooks M, N, Old and useless notes, Essay on theology and natural selection, Questions for Mr. Wynne, Extracts from B-C-D-E notebooks, A Biographical Sketch of Darwin's Father, Plinian Society Minutes Book]
- Bowler, P.J. 1990. *El Hombre y su Influencia*, trad. Eloy Rada García, Alianza, Madrid.
- Buffon, 1749. *Histoire Naturelle, générale et particulière*, L'imprimerie Royale, Paris. (Tomo V)
- Buffon, 1756. *Histoire Naturelle, Générale et Particulière*. L'imprimerie Royale, Paris. (Tomo V)
- Buffon, 1766. *Histoire Naturelle, Générale et Particulière*. L'imprimerie Royale, Paris. (Tomo XIV)
- Castrodeza, C. 2009. *La Darwinización del Mundo*. Herder, Barcelona.
- Castrodeza, C. 1988. *La Teoría Histórica de la Selección Natural*. Alhambra, Madrid.
- Darwin, C. 1839. *Journal of researches into the geology and natural history of the various countries visited by H.M.S. Beagle*. Colburn, London.
- Darwin, C. 1846. *Geological Observations on South America*. Stewart and Murray, London.
- Darwin, C.R. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. Vol. 1. 1st ed. John Murray, London.
- Darwin, C.R. 1872. *The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. 6th ed. John Murray, London.
- Darwin, C. 1887. *Life and Letters*, John Murray, London.
- Darwin, C. 1958. *Autobiography*. Collins, London.
- Darwin, C. 2009. *La Teoría de la Evolución de las Especies*. Ed. de Fernando Pardos, Crítica, Barcelona.
- Darwin, E. 1794. *Zoonomia, the Laws of Organic Life*. J. Jhonson, London.
- de Beer, G. (ed.). 1960. *Darwin's Notebooks on Transmutation of Species*. Part I. First notebook [B]. *Bulletin BMNH*.
- de Beer, G. (ed.). 1960. *Darwin's Notebooks on Transmutation of Species*. Part II. Second notebook [C]. *Bulletin BMNH*.
- de Beer, G. (ed.). 1960. *Darwin's Notebooks on Transmutation of Species*. Part III. Third notebook [D]. *Bulletin BMNH*.
- de Beer, G. (ed.). 1960. *Darwin's Notebooks on Transmutation of Species*. Part IV, Fourth notebook [E]. *Bulletin BMNH*.
- Depew, D.J. y Weber, B.H. 1995. *Darwinism Evolving: System Dynamics and the Genealogy of Natural Selection*. MIT Press, London.
- Diez, J.A. y Moulines, C.U. 1999. *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*, Ariel, Madrid.
- Ericson, G.P. 2012. Aves. Pp. 442-443. *En*: Vargas, P. y Zardoya, R. (eds.) *El Árbol de la Vida: Sistemática y Evolución de los Seres Vivos*. Madrid.
- García, C. 2012. *El Arte de la Lógica*, Tecnos, Madrid.
- Gayon, J. 2009, From Darwin to today in evolutionary biology. *En*: Hodge, J y Radick, G. (eds.) *The Cambridge Companion to Darwin*, Cambridge Univ. Press, 2nd ed., London.
- González, J.L. 2004. *Teorías de la Vida*, Síntesis, Madrid.
- Gould, S.J. 2004. *La Estructura de la Teoría de la Evolución*. Tusquets, Barcelona
- Henslow, J.S. 1831, Correspondence [https://www.darwinproject.ac.uk/letter/DCP-LETT-105.xml] 12-09-2017.
- Herbert, S. (ed.) 1980. *The Red Notebook of Charles Darwin*. Bulletin BMNH, London.
- Herschel, J.F.W. 1973. *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. Univ. Chicago Press. Chicago.
- Hodge, J. 2009. The notebook programmes and projects of Darwin's London years. *En*: Hodge,

- J y Radick, G. (eds.) *The Cambridge Companion to Darwin*, Cambridge Univ. Press, 2nd ed., London.
- Huxley, J. 1965. *La Evolución. Síntesis Moderna*. Losada, Buenos Aires.
- Huxley, T.H. 1860. *Westminster Review*, p.569.
- Jahn, I. et al. 1989. *Historia de la Biología*, Labor, Barcelona.
- Lamarck 1986. *Filosofía Zoológica*, trad. José González Llanas, Alta Fulla, Barcelona.
- Linnæus, C.N. 1737, *Genera Plantarum*, Conradum Wishoff, Lugdunum Batavorum, Leiden.
- Lose, J. 2006. *Introducción Histórica a la Filosofía de la Ciencia*. Alianza Universidad, Madrid.
- Lovejoy, A. 1983. *La Gran Cadena del Ser*, Icaria, Madrid.
- Lyell, C. 1832. *Principles Of Geology*, Vol. 2, John Murray, London.
- Malthus, R. *Primer Ensayo sobre la Población*, trad. Patricio de Azcárate, Altaya, Madrid.
- Mayr, E. 1992. *Una Larga Controversia: Darwin y el Darwinismo*. Crítica, Barcelona.
- Milne Edwards, H. 1884. Considérations sur quelques principes relatifs à la classification naturelle des animaux, *Annal. Sci. Naturelles* 3<sup>rd</sup> séries 1: 65.
- Moreno, J. 2003. Historia de las teorías evolutivas. En: Soler, M. (ed.) *Evolución. La Base de la Biología*. Proyecto Sur, Granada.
- Moreno, J. 2010. *Los Retos Actuales del Darwinismo*. Sesbe, Madrid
- Newton, I. 1687. *Philosophia Naturalis Principia Mathematica*, S.vPepys, Londini.
- Paley, W. 1802. *Natural Theology, or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearances of Nature*. John Morgan, Philadelphia.
- Provine, 1985. Adaptation and the mechanisms of evolution after Darwin: A study in persistent controversies. En: Kohn, D. (ed.) *The Darwinian Heritage*, cap. IV, Princeton Univ. Press, Princeton.
- Rossi, P. 1979. *I Segni del Tempo: Storia della Terra e Storia delle Nazioni da Hooke a Vico*, Feltrinelli, Milán.
- Ruse, M. 1983. *La Evolución Darwiniana*, trad. Carlos Castrodeza, Alianza, Madrid.
- Sloan, P.R. 2009. The making of a philosophical naturalist. En: Hodge, J y Radick, G. (eds.) *The Cambridge Companion to Darwin*, Cambridge Univ. Press, 2nd. ed., London.
- Smith, A. 1776. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Strahan & Cadel, London.
- Sulloway, F. 1985 Darwin's early intellectual development: an overview of the Beagle voyage. En: Kohn, D. (ed.) *The Darwinian Heritage*, cap.IV, Princeton Univ. Press, Princeton.
- Sulloway, F. 1982 Darwin and His Finches: The Evolution of a Legend. *J. Hist. Biol.* 15: 1-53.
- Von Goethe, J.W. 1799. *Die Metamorphose der Pflanzen*. In Friedrich Schillers Musen-Almanachfür.
- Humboldt, Alexander von and Aimé Bonpland. 1814-1829. *Personal Narrative of Travels to the Equinoctial Regions of the New Continent, During the Years 1799-1804*. trans. into English by Helen Maria Williams. 7 vols. Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown, London.
- Von Sydow, M. 2012. *From Darwinian Metaphysics Towards Understanding the Evolution of Evolutionary Mechanism*, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen.
- Wallace, A.R. 1858. On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type. *J. Proc. Linn. Soc. Lond.. Zool.* 3 (20th August).

### Información del Autor

Juan Campos Quemada es licenciado en Físicas por la Universidad Complutense de Madrid especializándose después en la rama de Astrofísica por la Universidad Autónoma de Madrid. Su trayectoria se ha centrado en el ámbito de la educación en ciencia. En el año 2010 completó el Máster en Estudios Avanzados en Filosofía por la UCM. En la actualidad, realiza el doctorado sobre las consecuencias filosóficas de las relaciones entre quanta y vida, especializándose en los fundamentos filosóficos del Darwinismo Cuántico.



## George Price y el lenguaje de la evolución

**Víctor J. Luque**

Grupo de investigación Métodos, Departamento de Filosofía (área de Lógica y Filosofía de la Ciencia), Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Universitat de València, Avda. Blasco Ibáñez, 30, 46010, Valencia.  
E-mail: victor.luque@uv.es

### RESUMEN

El presente artículo presenta y analiza las contribuciones de George Price a la biología evolutiva. Así, tras una breve exposición biográfica, expondremos los tres mayores logros de Price. En primer lugar analizaremos la conocida como ecuación de Price y por qué es considerada la ecuación fundamental de la evolución. Posteriormente exponemos como Price hizo uso de la teoría de juegos para la comprensión del comportamiento animal. Por último, presentamos el teorema fundamental de la selección natural de Fisher y el análisis de Price que permitió clarificarlo tras décadas de discusión en torno a dicho teorema. *eVOLUCIÓN 13(1): 33-42 (2018)*.

**Palabras Clave:** George Price, Ecuación de Price, Esquema generalizador, Teoría de juegos, Comportamiento animal, Teorema de Fisher.

### ABSTRACT

This article presents and analyses George Price's contributions to evolutionary biology. Thus, after a brief biographical note, we present Price's three major achievements. Firstly, we analyse the Price equation and why it is considered the fundamental equation of evolution. Secondly, we explain how Price used game theory in order to solve some problems in animal behaviour. Finally, we present Fisher's fundamental theorem of natural selection, and how Price clarified the meaning of the theorem overcoming decades of discussions around it. *eVOLUCIÓN 13(1): 33-42 (2018)*.

**Key Words:** George Price, The Price equation, Generalization-sketch, Game theory, Animal behaviour, Fisher's theorem.

### Introducción

La historia de la biología evolutiva cuenta con ilustres nombres en su haber. Carl Linneo, George Cuvier o Erasmus Darwin, fueron los pioneros. Charles Darwin, sin olvidar a Alfred Wallace, elaboró el edificio principal sobre el que se sustenta la biología evolutiva. A principios del siglo XX los mutacionistas y los biométricos, encabezados por Thomas Morgan y Karl Pearson, respectivamente, nos explicaron la importancia del mecanismo hereditario para comprender la evolución. Ronald Fisher, Sewall Wright y J.B.S. Haldane elaboraron la famosa Síntesis Moderna, el pilar de la biología evolutiva actual. Motoo Kimura, Richard Lewontin, Stephen J. Gould, o William Hamilton expandieron nuestra comprensión de la genética de poblaciones, la paleontología y de la evolución social, respectivamente. Sin embargo, durante demasiado tiempo, una figura fue olvidada. Se trata de George Price. El presente artículo pretende reivindicarlo como uno de esos nombres ilustres. Tras unos apuntes biográficos, expondremos tres de sus mayores contribuciones

a la biología evolutiva: la ecuación que lleva su nombre, su uso de la teoría

de juegos en el campo de la evolución y su clarificación del teorema de Fisher.

### Notas biográficas

George Price nació en el año 1922. Su padre falleció cuando George contaba con tan solo cuatro años dejando a su madre, una antigua cantante de ópera y actriz, a cargo de la compañía familiar de iluminación. Mantener la empresa a flote durante la Gran Depresión fue la mayor preocupación de la familia. Por suerte Price, tras asistir a la escuela pública de Nueva York, cursó la carrera de Química en la Universidad de Chicago, donde obtuvo su doctorado. Durante aquella época también trabajó en el Proyecto Manhattan que desarrolló la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. En 1947 se casó con Julian Madigan, pero el matrimonio dura sólo ocho años debido a las fuertes discrepancias entre sus sistemas de creencias: ella una ferviente católica, él un ateo convencido.



**Fig. 1.** George Price en su despacho de la University College de Londres, 1973.

Tras acabar su doctorado, Price trabaja como investigador médico en la Universidad de Minnesota. En 1955 y 1956 publica sendos artículos en la revista *Science* preguntándose por la posibilidad de testar científicamente fenómenos paranormales como las percepciones extrasensoriales, cuestionando la validez científica que afirmaban tener sus defensores.

En plena Guerra Fría, preocupado por un posible conflicto bélico entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, Price desarrolla algunas nuevas ideas de política exterior a partir de la teoría de juegos. Dicho interés lo empuja a escribir un libro sobre el tema, titulado *No Easy Way*, que por desgracia queda inacabado. En la primera parte de la década de los años 60, Price trabaja para IBM en varios proyectos de computación y modelización matemática. En 1966 le diagnostican un cáncer tiroideo que es eliminado mediante cirugía. Desgraciadamente, la operación daña a Price su hombro izquierdo dejándolo parcialmente paralizado.

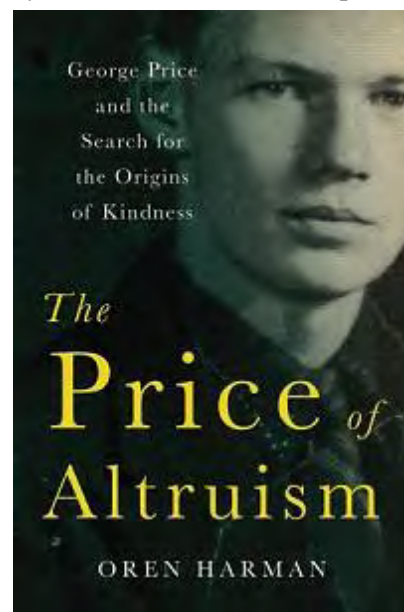
Price decide dar un cambio de rumbo a su vida y su carrera profesional, trasladándose a Londres en 1967 con la ayuda del dinero obtenido como indemnización por la parálisis de su hombro. Así se adentra en los estudios de genética evolutiva trabajando bajo la supervisión del bioestadístico Cedric Smith en el Galton Laboratory de la University College (Fig. 1). Price comienza su interés por el comportamiento altruista y la selección de grupo, que lo llevará a relacionarse con William Hamilton y desarrollar algunos de sus principales trabajos (como veremos en las siguientes secciones).

En el verano de 1970, Price sufre una conversión religiosa, que él ve como el lógico resultado de la concatenación de hechos improbables que ha sido su vida. Aquel antaño hombre de ciencia y razón, cuyo ateísmo le costó su matrimonio, se vuelca en su nueva pasión religiosa mediante la

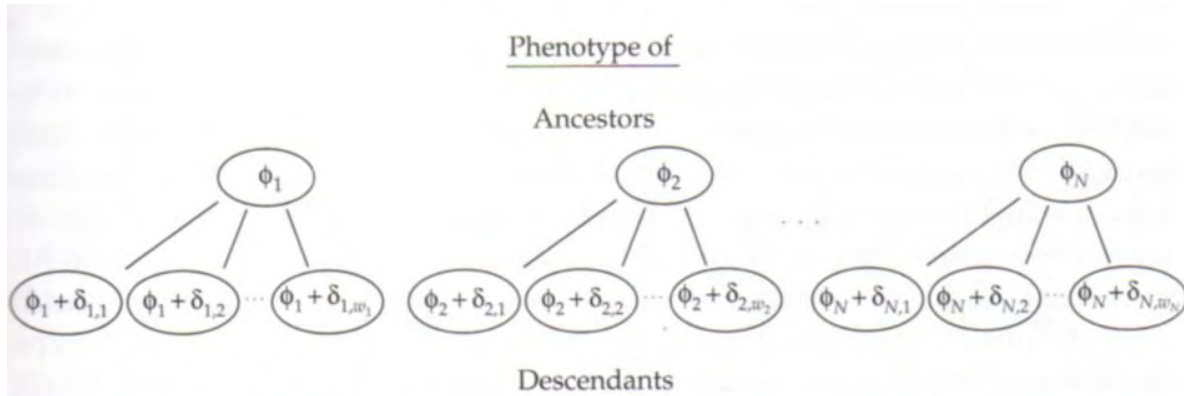
exégesis bíblica. Esta conversión lo condujo a una vida de estrecheces y penurias económicas puesto que ayudaba a todo aquel que podía, desde alcohólicos hasta los sin techo, llevándolo a un estado de malnutrición y pobreza. El 6 de enero de 1975 Price se suicidó cortándose la garganta con unas tijeras. Price tenía 52 años. Al funeral asistieron sólo siete personas: cinco vagabundos a los que Price había ayudado, William Hamilton y John Maynard Smith (Harman 2011; Fig. 2).

### La ecuación de Price

Maravillados por los avances y descubrimientos en la física, una parte importante de la comunidad científica de diferentes disciplinas ha deseado, consciente o inconscientemente, contar con representaciones matemáticas de sus objetos de estudio. Es más, estas representaciones deberían tener una forma y una estética concretas, prefiriendo las más austeras y simples posibles. Este ideal se plasma en la repetida afirmación de intentar reducir toda un área, por ejemplo la física, a una fórmula tan simple que cupiera en una camiseta. Aunque este ideal no se ha cumplido, la física sí cuenta con varias versiones de esta visión, como podrían ser la segunda ley de Newton o la fórmula de la relatividad especial de Einstein. Sin embargo dicha idea siempre encuentra expresiones escépticas una vez nos alejamos de los parajes simples y austeros de la física y nos adentramos en las tierras complejas y desorganizadas de la biología, tierra de la contingencia y el desorden. Así, la mayoría de los biólogos evolutivos se fueron conformando con realizar modelos matemáticos específicos a cada problema, disuadidos de la problemática de encontrar una expresión general. Por su parte Ronald Fisher, uno de los padres de la Síntesis Moderna y altamente influenciado por la forma



**Fig. 2.** Oren Harman ha escrito la biografía más extensa y rigurosa sobre George Price. En ella recorre los inicios del problema del comportamiento altruista desde Darwin, tomando como hilo conductor la turbulenta vida de Price.



**Fig. 3.** La idea básica de la ecuación de Price es establecer una conexión entre la generación ancestral y la descendiente mediante un etiquetado único, como muestra la imagen. Figura extraída de Rice 2004.

de trabajar de los físicos de su época, tomó el camino opuesto aceptando el reto y creyó haber encontrado dicha expresión general en su famoso teorema (como veremos más adelante). Pero fue George Price (1970, 1972) el que consiguió desarrollar la ecuación fundamental de la evolución (Luque 2017; Queller 2017).

Los conceptos básicos en los que se basa dicha ecuación son: la relación ancestro-descendiente, cambio a través del tiempo, y el fenotipo (Rice 2004). En términos simples, la evolución puede definirse como el cambio de algunas características de una población a través del tiempo. La ecuación de Price conecta ancestros y descendientes de una población mediante alguna propiedad de los individuos (que llamamos fenotipo, la cual representamos mediante un número real), permitiendo así seguir cómo cambia dicha propiedad de una generación a la siguiente (Fig. 3).

Imaginemos una población cuyos individuos poseen alguna característica que varía entre ellos y que nos interesa su evolución. Para ello etiquetamos a los individuos de la población mediante el índice  $i$  y el rasgo de interés lo denominamos  $z$ . Así, el valor del rasgo  $z$  que poseen cada uno de los individuos  $i$  lo denominamos  $z_i$ . A su vez, denotamos el valor medio del carácter como  $\bar{z}$ . Cuando los organismos se reproducen aparece la siguiente población descendiente. Definimos la eficacia como el número de descendientes que deja cada individuo, representada por  $w$ ; y la eficacia media poblacional queda denotada como  $\bar{w}$ . Si el número de descendientes de los individuos depende de que posean el rasgo  $z$ , entonces se establece una conexión entre  $z$  y  $w$ , la cual podemos representar mediante una covarianza,  $Cov(w, z)$ . Esta covarianza muestra la acción de la selección natural sobre el rasgo  $z$  entanto que representa el cambio debido a las diferencias en supervivencia y reproducción. Aunque técnicamente queda incluida la deriva genética, dicha covarianza es una representación intuitiva de la selección natural. Este término en forma de covarianza fue descubierta anteriormente por Alan Robertson en el año 1966, aunque Price

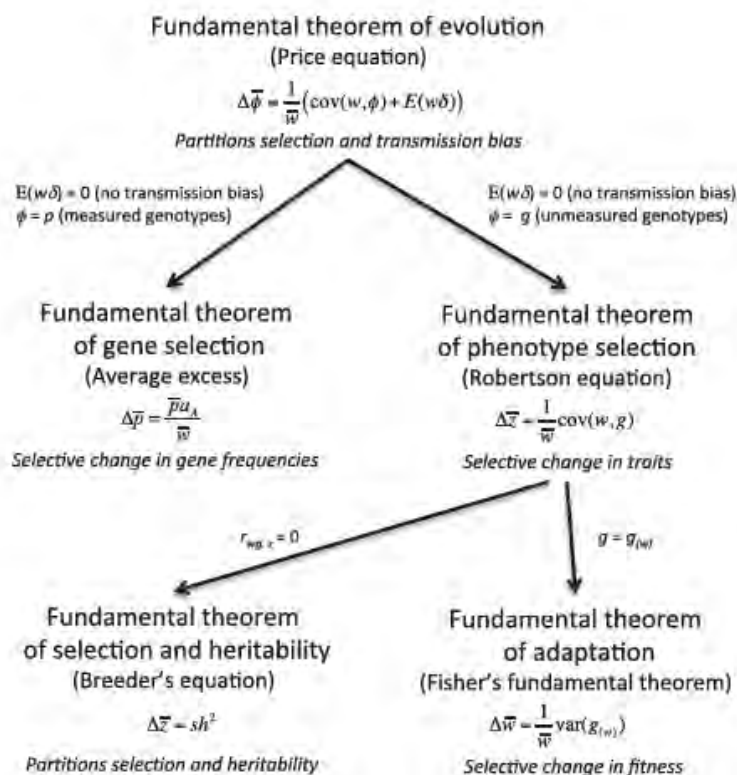
llegó a la misma expresión de forma independiente, desconociendo la derivación anterior de Robertson. Es por ello que suele llamarse el teorema Robertson-Price en honor a ambos o teorema secundario de la selección natural.

A su vez, la trayectoria del rasgo  $z$  puede verse afectada por su transmisión durante la reproducción. Definimos  $\Delta z$  como la desviación del valor de  $z$  de los organismo y el valor promedio de  $z$  en su descendencia. Por tanto, el valor de  $\Delta z$  nos muestra el grado de fidelidad en la transmisión del rasgo  $z$ . Si su valor es 0, entonces el rasgo se transmite perfectamente a la siguiente generación, sin cambios. Sin embargo, si su valor es positivo entonces están actuando procesos tales como la mutación, la recombinación, o incluso la selección en un nivel más bajo de la organización. El promedio de los valores de  $\Delta z$  se define mediante una esperanza matemática,  $E(\Delta z)$ .

Como dijimos, nos interesa saber cómo cambia el rasgo  $z$  a través de cada generación, cuyo valor promedio de cambio lo denotamos como  $\Delta \bar{z}$ . Si su valor no es cero, entonces se ha producido un cambio en el rasgo  $z$  dentro de la población, capturando su evolución. Las causas de dicho cambio deben estar conectadas a la eficacia de los individuos que lo portan o a la fidelidad en cómo se transmite a la siguiente generación. La ecuación de Price recoge estas dos posibilidades, unificando el cambio evolutivo de la siguiente forma (para una derivación matemática rigurosa véase Frank 2012a):

$$\bar{w}\Delta\bar{z} = Cov(w, z) + E(w\Delta z)$$

Dos de las características principales de la ecuación de Price son su carácter abstracto y su capacidad unificadora. Aunque en nuestro ejemplo hablamos de organismos, las entidades que trata la ecuación de Price pueden ser de muy distinta naturaleza en tanto que no especifica los modos de reproducción y tampoco los modos de herencia de aquellas. Así, podemos hablar de alelos, genotipos, grupos de individuos, etc., usando el formalismo de Price. Antes de ser instanciadas dichas entidades en un modelo



**Fig. 4.** La relación entre la ecuación de Price y las demás ecuaciones fundamentales de la biología evolutiva. Se muestra la derivación mediante flechas y las correspondientes suposiciones o restricciones. Figura extraída de Queller 2017.

concreto, la ecuación de Price simplemente estipula un conjunto de entidades y sus relaciones, mapeándolos de cierta manera. A su vez, como no necesita establecer a priori el modo de reproducción de los individuos que estudia hace que la ecuación de Price no se vea sometida de antemano a ningún modo de herencia concreto, sólo que exista una relación entre ancestros y descendientes. Esto le permite abarcar diferentes modos de herencia más allá del que ha sido el preponderante en biología evolutiva como el genético de raíz mendeliana, el cual restringe el alcance de muchos modelos clásicos. De este modo, la ecuación de Price puede ser utilizada para otras formas de herencia como la cultural, la epigenética, o la comportamental (Helanterä y Uller 2010). Una ventaja adicional de dicha característica es que la ecuación de Price no está comprometida con el tipo de herencia genética surgida en la Tierra por lo que en principio, siempre que dichos organismos cumplieran las asunciones de las que parte Price, podría ser usada como formalismo para otros tipos de herencia no desarrollados en la Tierra. Esto le confiere un carácter universal que contrasta con las contingencias, particularidades y elementos ad hoc a los que se han visto abocados los biólogos evolutivos en el último siglo, específicos para los organismos surgidos en la Tierra.

La ecuación de Price tampoco está restringida en su alcance temporal. Aunque típicamente se representa, como en nuestro ejemplo, a una

población en dos generaciones (parentales y descendientes), la ecuación de Price puede tomar cualquier intervalo de tiempo y generaciones en sus cálculos, donde la población inicial y la final pueden estar separadas por varias generaciones. Del mismo modo, puede tomar la misma población en dos intervalos distintos de tiempo antes de la reproducción (o sin necesidad de la misma). Esto es particularmente útil para los casos de selección intrageneracional o supervivencia diferencial, donde los individuos de la población son tratados como ancestros y, si sobreviven, como descendientes en el siguiente intervalo temporal.

Esta naturaleza abstracta del formalismo desarrollado por Price permite derivar a partir de él las principales ecuaciones descubiertas durante el siglo XX en la biología evolutiva. Así, los resultados en Genética de Poblaciones y Genética Cuantitativa que fueron derivados a partir de diferentes modelos simplificados pueden derivarse a partir del teorema de Price. Dichos modelos realizan una serie de suposiciones e idealizaciones para poder simplificar el objeto de estudio concreto. Este proceder ha sido muy exitoso a la hora de modelizar y poner a prueba hipótesis evolutivas desde hace décadas. Sin embargo, este proceder limita el alcance de dichos modelos, imposibilitando una visión unificada y de conjunto de la biología evolutiva. La ecuación de Price, en cambio, no parte de idealizaciones sino de suposiciones que consideramos que son ciertas

sobre todos los sistemas evolutivos, sus propiedades básicas, y a partir de ahí desarrolla los principios matemáticos apropiados para ello (Rice 2004). De este modo, Price desarrolló una ecuación abstracta y a la vez unificadora de los diferentes modelos simplificados desarrollados durante el siglo XX. Dichos modelos pueden ser derivados directamente de la ecuación de Price especificando las suposiciones y restricciones que hacen (véase Fig. 4). Esto permite ver las relaciones entre dichos resultados, las cuales quedaban ocultas debidas a las simplificaciones realizadas cuando fueron derivados por primera vez. Así, la ecuación de Price unifica todos estos resultados bajo un mismo paraguas teórico, y permite extenderlo a otros nuevos. Todos los diferentes programas de investigación que cuentan con la selección natural como mecanismo principal, tales como la selección multinivel, la teoría de la eficacia inclusiva de Hamilton (Fig. 5), dinámicas adaptativas, etc., quedan englobados dentro de la ecuación de Price. Además, su uso se ha extendido a terrenos como la epidemiología o la ecología, estableciendo conexiones entre campos anteriormente separados (Luque 2017).

A pesar de todas estas virtudes, resulta importante señalar algunos aspectos que, en ocasiones, parecen restringir la aplicación de la ecuación de Price (para más detalles de otros supuestos problemas véase Luque 2017). En primer lugar observamos que la ecuación está formulada en términos estadísticos, aunque su función no es de estimación sino de establecer interpretaciones causales (Queller 2017). Es decir, y tomando sólo el término de la covarianza, si hay una covarianza positiva entre el rasgo y la eficacia, entonces dicho rasgo estará bajo selección positiva. Sin embargo, correlación no implica causalidad. Así, si estuviéramos ante un caso de pleiotropía, otros rasgos asociados al rasgo anterior también estarían bajo selección positiva pero el formalismo de Price, por sí solo, no podría informarnos sobre cuál de esos rasgos es causalmente relevante para el éxito reproductivo del individuo y cuál es selectivamente neutro. Por suerte, existen varias soluciones para superar esta restricción. Una manera es aplicar una versión multivariada de la ecuación de Price, semejante a la ecuación de Lande, que permite detectar las correlaciones espurias y así describir de forma correcta la respuesta a la selección (Morrisey et al. 2010). Otra alternativa es incorporar un formalismo causal adicional a la ecuación de Price. Este trabajo lo ha desarrollado Jun Otsuka (2016) donde, a través del uso de ecuaciones causales estructurales (*causal structural equations*) y diagramas causales (*causal graphs*) es capaz de incorporar un relato causal al formalismo de Price. De este modo Otsuka consigue elaborar modelos causales



**Fig. 5.** Un ejemplo de comportamiento social. Las hormigas cortadoras de hojas del género *Atta* son colonias de insectos eusociales, donde la casta trabajadora es parcial o totalmente estéril, reduciendo o eliminando su reproducción en favor de la reproducción de su madre. La *regla de Hamilton* permite explicar este comportamiento social en términos de costes y beneficios de los individuos y su nivel de relación (normalmente parentesco), cuya forma general puede derivarse directamente de la ecuación de Price.

explícitos que generan las cantidades que aparecen en la ecuación de Price.

Otro elemento que parece restringir a la ecuación de Price es que el proceso de migración no aparece explícito. Recordemos que en nuestra exposición señalamos que la ecuación de Price establece una conexión entre ancestros y descendientes. Pero los inmigrantes son individuos que, por definición, no están conectados a la generación parental de la población a la que se incorporan. Por tanto, desde el formalismo de Price, estos individuos simplemente aparecen en la siguiente generación. La explicación para dicha carencia se encuentra en la derivación de la ecuación original. Aunque hemos dicho que la ecuación de Price no realiza ninguna idealización o simplificación, y que de ahí proviene parte de su carácter general como ecuación fundamental de la evolución, sí que realiza varias suposiciones. Una de ellas es considerar que todos los descendientes de la población provienen de la generación anterior, es decir, asume el número concreto de progenitores que tiene un individuo o, lo que es lo mismo, una población cerrada. Esta suposición es razonable la mayoría de las veces, pero no siempre. Esta restricción puede ser superada haciendo explícita la conexión entre los inmigrantes y sus ancestros de dos formas. Una forma es considerando la población de la que provienen los inmigrantes como una subpoblación que forma parte del entramado conectivo que realiza la ecuación de Price. Se trataría de una población cerrada pero subdividida. En este caso se considera una metapoblación donde todos los individuos están

$$\widehat{\Delta\phi} = \text{cov}(\widehat{\phi}^o, \widehat{\Omega}) + \overline{\text{cov}_i(\phi^o, \Omega)} + \bar{\delta}$$

Stochastic evolution (general equation) (Rice 2008)

$$\widehat{\Delta\phi} = \left[ \left[ \widehat{\phi}^o, \widehat{\Omega} \right] \right] + \overline{\langle \langle \widehat{\phi}^o, \widehat{\Omega} \rangle \rangle} + \widehat{\delta} + \langle \langle \gamma, \Xi \rangle \rangle + \bar{\Xi}(\hat{\gamma} - \widehat{\delta})$$

Stochastic fitness and stochastic migration (Rice and Papadopoulos 2009)

$$\mathbf{R} = \mathbf{GP}^{-1}\mathbf{ES} + \mathbf{GP}^{-1}\Delta\mathbf{S}_e + \mathbf{GP}^{-1}\Delta\mathbf{S}_d$$

Fluctuating selection and drift (Engen and Saether 2014)

$$\Delta T = \bar{z}\Delta s + Sp(w, z) + \sum_i w_i \Delta z_i$$

Difference Ecosystem Function (Fox 2006)

$$\Delta \bar{z} = E_I(E_{J_i}(\Delta z_{ij})) + E_I(\text{cov}_{J_i}(w_{ij}, z'_{ij})) + \text{cov}_I(w_i, z'_i)$$

Collins/Gardner Equation (2009)

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial x}{\partial z} \left( \frac{dz}{dt} - E[\Delta z] \right) + \frac{\partial x}{\partial z} E[\Delta z] + \frac{\partial x}{\partial k} \frac{dk}{dt}$$

Genotype-Phenotype-Environment equation (Ellner et al. 2011)

$$\dot{\bar{x}}^A = \text{cov}_A(x, r^{AA}) - \mu(\bar{x}^A - \bar{x}_m^A) + \frac{N^B}{N^A} \text{cov}_B(x, r^{BA}) + \frac{N^B}{N^A} r^{-BA}(\bar{x}^A - \bar{x}^B)$$

The Price equation to multiple habitats (Day and Gandon 2006)

$$\bar{W}\Delta\bar{h} = \text{Cov}(W, h) + E(b\Delta h^b) + E(p\Delta h^p)$$

Non-genetic inheritance Price equation (for overlapping generations) (Day and Bonduriansky 2011)

$$\Delta \bar{Z} = \frac{1}{\bar{z} + R}(\beta + \lambda_2)\sigma_A^2$$

Niche construction (Otsuka 2015)

**Fig. 6.** Ejemplos de ampliaciones de la ecuación de Price. Dichas ampliaciones pueden deberse a derivaciones a partir de la dicha ecuación, las cuales se encuentran de forma implícita en la ecuación, o a reformulaciones que añaden términos nuevos. Figura extraída de Luque 2017.

conectados, evitando así modificar la ecuación original. La otra forma es, precisamente, modificando la ecuación original añadiendo un nuevo término que explicita qué descendiente carece de un progenitor, incorporando la migración que entra y sale de la población modelada (Kerr y Godfrey-Smith 2009).

### Un esquema generalizador

Todas las teorías científicas maduras cuentan con leyes o generalizaciones que les permiten tratar diferentes fenómenos y que suelen expresarse de forma matemática. Sin embargo, dentro de la estructura de las diferentes teorías científicas, no todas aquellas leyes o generalizaciones ocupan el mismo lugar ni tienen la misma importancia que otras. El filósofo de la ciencia Thomas Kuhn (1970) argumentó que existen algunas generalizaciones dentro de las teorías que podrían calificarse más como “esquemas” que como leyes al uso. El ejemplo clásico al que hacía referencia Kuhn era la segunda ley del movimiento de Newton,  $F = ma$ . Cuando los físicos se enfrentaban a un problema, ya fuera la caída libre de un cuerpo, el movimiento de un péndulo o de un oscilador armónico, tomaban la segunda ley de Newton e intentaban aplicarla a dichos problemas. De este modo, la segunda ley de Newton, por sí sola, decía muy poco sobre el mundo, daba un esquema de cómo deberían ser las ecuaciones que describieran el movimiento de

cuerpos, pero sus particularidades debían especificarse en cada uso concreto. Así, la forma y el alcance que toma la segunda ley de Newton para el péndulo simple es muy distinta de la que toma cuando trata cuerpos en caída libre. La segunda ley de Newton da un lenguaje a los físicos basado en fuerzas, masas y aceleraciones, el cual tienen que aprender y modificar para su uso en los problemas que se encuentren.

La ecuación de Price puede jugar el mismo papel en la biología evolutiva que el que realiza la segunda ley de Newton en la mecánica clásica (para una explicación más extensa véase Luque 2017). Así, de la misma manera que la segunda ley de Newton no da una descripción completa de los sistemas físicos sino que hace hincapié en que una descripción (potencialmente muy complicada) de los sistemas físicos puede abordarse mediante fuerzas, masas y aceleraciones, el uso adecuado de la ecuación de Price es motivar el desarrollo de ecuaciones evolutivas más concretas que usen su mismo lenguaje básico y su lógica. Si hay un sistema evolutivo este puede abordarse mediante covarianzas, esperanzas y regresiones. Esta parecía ser la aspiración del mismo Price, cuando afirmó que su ecuación “pretendía mayormente ser usada en la derivación de relaciones generales y la construcción de teorías” (Price 1972a). Por tanto, podemos pensar en la ecuación de Price como una herramienta para resolver problemas, donde los investigadores deben intentar buscar una forma matemática

concreta de la misma que les permita abordar el problema concreto que investigan. Como se muestra en la Fig. 6, ello ha motivado la elaboración de nuevas formas de la ecuación de Price para diferentes tipos de procesos evolutivos.

### La evolución bajo la teoría de juegos

La idea de utilizar el aparato conceptual de la teoría de juegos para diversos problemas evolutivos puede remontarse hasta Ronald Fisher (aunque éste nunca empleó el término). Así en los años 60, Richard Lewontin primero y más tarde William Hamilton y John Price (este último no es pariente de George Price) plantearon su uso como posible aparato teórico para resolver diversos problemas evolutivos. Sin embargo fue George Price el que llevó la idea a un nuevo nivel.

La teoría de juegos fue inventada por John von Neumann y Oskar Morgenstern como un aparato matemático que permitiera estudiar el comportamiento humano a la hora de tomar decisiones. Así, un típico modelo de la teoría de juegos analiza la interacción entre dos jugadores, los cuales suponemos que desean sacar el máximo provecho de la interacción (actúan *racionalmente*), contabilizado mediante una matriz de pagos (*payoff matrix*). Aunque esta suposición de *racionalidad* no siempre se cumple en humanos, sí que permite modelar de forma intuitiva casos de selección dependiente de frecuencia en una población. De este modo, los individuos son jugadores que interaccionan siguiendo unas estrategias fijas, y de cuyas interacciones obtienen un pago. Este pago, en términos evolutivos, es interpretado como la eficacia o éxito reproductivo de la estrategia seguida por cada individuo, favoreciendo la selección aquellas estrategias que favorecen el éxito reproductivo (Nowak 2006).

El problema al que se enfrentó Price fue que en muchas especies de animales los machos, en vez de enfrentarse directamente infringiendo heridas que pueden resultar en muchos casos mortales, simulan una pelea mediante un ritual. Así, los ciervos machos chocan sus cornamentas pero evitan atacar los costados y otras partes poco o nada protegidas. La solución a este problema es entender la pelea como un juego estratégico donde la mejor estrategia de un individuo depende de las estrategias de los otros. Si todas las peleas derivan en luchas mortales, la mejor estrategia será luchar por la vida y olvidarse de las ganancias de las batallas rituales. Por el contrario, si el resto rehúye las agresiones entonces agredir conllevará la victoria inmediata sin riesgo alguno de herida o muerte. Estas dos estrategias interaccionan en la población, donde la frecuencia de cada estrategia depende del equilibrio que se dé entre las ganancias y pérdidas de ritualizar o no la pelea.

La idea de equilibrio derivó en lo que Maynard Smith denominó *Estrategia Evolutivamente*

*Estable*, la cual si todos los miembros de la población la adoptan entonces ninguna nueva estrategia podría invadir la población bajo la influencia de la selección natural. Esta idea se hizo popular a partir del artículo de Maynard Smith y Price (1973), aunque encuentra un precedente en lo que Hamilton denominó “estrategia imbatible” pero aplicado, siguiendo a Fisher, a un modelo de proporción de sexos (Frank 1995). Y a su vez dicha idea era ya conocida en la teoría de juegos como *equilibrio de Nash*, desarrollada por el matemático John Nash en los años 40 donde los individuos, si se encuentran en dicho equilibrio, no pueden desviarse de su estrategia e incrementar su pago (Nowak 2006).

Price elaboró estas ideas sobre la evolución del comportamiento animal en un largo artículo enviado a la revista *Nature* en 1968. La revista lo aceptó bajo la condición de acortarlo, pero Price nunca lo volvió a reenviar. Por suerte Maynard Smith fue uno de los revisores del artículo, empujándolo a él mismo a profundizar en ese campo y proponiendo a Price, a su vez, realizar un artículo conjunto que expusiera dichas ideas (Harman 2011). A pesar de que John Maynard Smith es considerado el padre de la teoría de juegos evolutiva, él siempre dio gran parte del crédito a las ideas y trabajos de Price (Frank 1995).

### Clarificando el Teorema de Fisher

En 1930 Ronald Fisher publicó, seguramente, la obra más importante en biología evolutiva desde el *Origen de las especies* de Darwin. Se trataba de la obra *The Genetical Theory of Natural Selection* y en ella Fisher exponía por primera vez lo que se ha llamado el Teorema Fundamental de la Selección Natural. En su primera formulación decía “la tasa de incremento en eficacia de cualquier organismo en cualquier momento es igual a su varianza genética en eficacia en ese momento”. Pero posteriormente Fisher afinó dicha definición quedando de la siguiente manera: el aumento de la eficacia media de la población debida a la selección natural es igual a la varianza genética de la eficacia. En términos matemáticos, establece que el cambio en la eficacia media es proporcional a la variación en eficacia genética o:

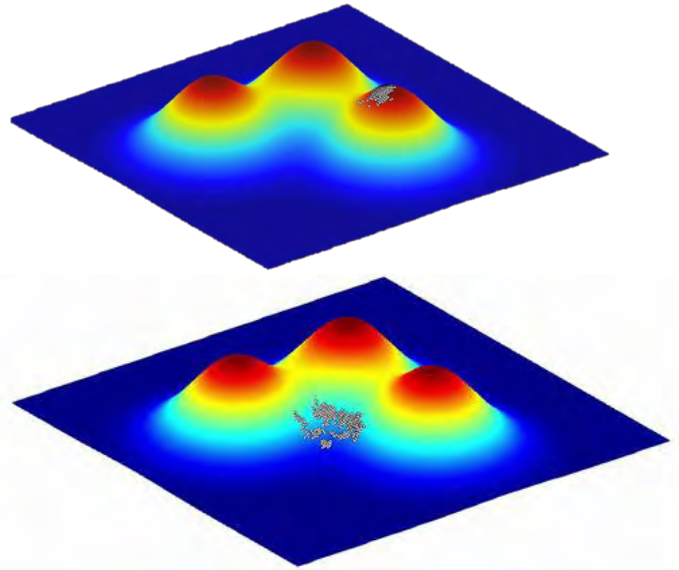
$$\Delta \bar{w} = \frac{V_a(w)}{\bar{w}}$$

Fisher afirmaba que era un verdadero teorema, exacto en su formulación. Consideró que se trataba de un hallazgo, no solo matemático, sino también de gran importancia conceptual, y por tanto debía situarse en la posición suprema entre las ciencias biológicas (Fisher 1930). Tanto es así que llega a compararlo con la Segunda ley de la

termodinámica. Aunque acto seguido Fisher enumera las diferencias sustanciales entre su teorema y la segunda ley, sí que ambas parecen establecer una direccionalidad en las trayectorias poblacionales y del universo, respectivamente. La segunda ley de la termodinámica establece que la entropía (el grado de desorden) en un universo cerrado tiende a aumentar, yendo desde una baja entropía a una alta. Esto es, establece una flecha del tiempo cuya dirección es la muerte térmica del universo. Por su parte, el teorema de Fisher establece que la selección actúa sobre las poblaciones aumentando su eficacia biológica, es decir yendo desde bajos estados de eficacia a estados más altos, en tanto que las varianzas no pueden ser negativas (Okasha 2008). Esta es la interpretación clásica del teorema. Sewall Wright, otro de los arquitectos de la Síntesis Moderna, desarrolló la idea de la metáfora del paisaje adaptativo bajo la influencia del trabajo y el teorema de Fisher. Los paisajes adaptativos o paisajes de eficacia (*fitness landscapes*) se suelen representar como un diagrama con uno o dos ejes representando la eficacia media de una población y las frecuencias de ciertos alelos. Así, en esta imagen encontramos colinas y valles, donde las poblaciones recorren su superficie, alcanzando los picos adaptativos o cayendo a los valles (Fig. 7). En este marco podemos representar diferentes fuerzas evolutivas moviendo la población: la selección la empuja hacia un pico adaptativo, la deriva la desplaza de forma aleatoria, etc. Esta imagen intuitiva de la evolución pretendía facilitar la comprensión de los complejos modelos matemáticos que Wright y otros teóricos desarrollaron en aquel periodo.

A pesar de todo ello y desde su formulación original, el Teorema de Fisher se encontró con rechazos e incomprensiones. Muchos biólogos y matemáticos afirmaban que existían casos de selección natural (selección dependiente de frecuencia, dependiente de densidad, etc.) donde la eficacia, lejos de aumentar, disminuía. Esto en efecto parece reducir o incluso socavar el teorema, el cual parece requerir de condiciones muy concretas para que mantenga su validez o, al menos, ser una buena aproximación. Fisher era consciente de dichos casos (Edwards 1994). Si es así, entonces, ¿por qué siguió afirmando que su teorema era correcto matemáticamente y relevante en términos biológicos?

La respuesta se encuentra en la llamada interpretación moderna del teorema, la cual se debe principalmente a Price. En un artículo publicado en 1972 analiza el teorema de Fisher y establece que gran parte de la confusión provino de la muy limitada concepción que tenía Fisher del cambio en la eficacia media poblacional y en su ambigua concepción del término “ambiente” (Price 1972b). Curiosamente Price no utilizó su famosa ecuación para dicho fin, a pesar de que el teorema de Fisher puede ser derivado, tanto en su



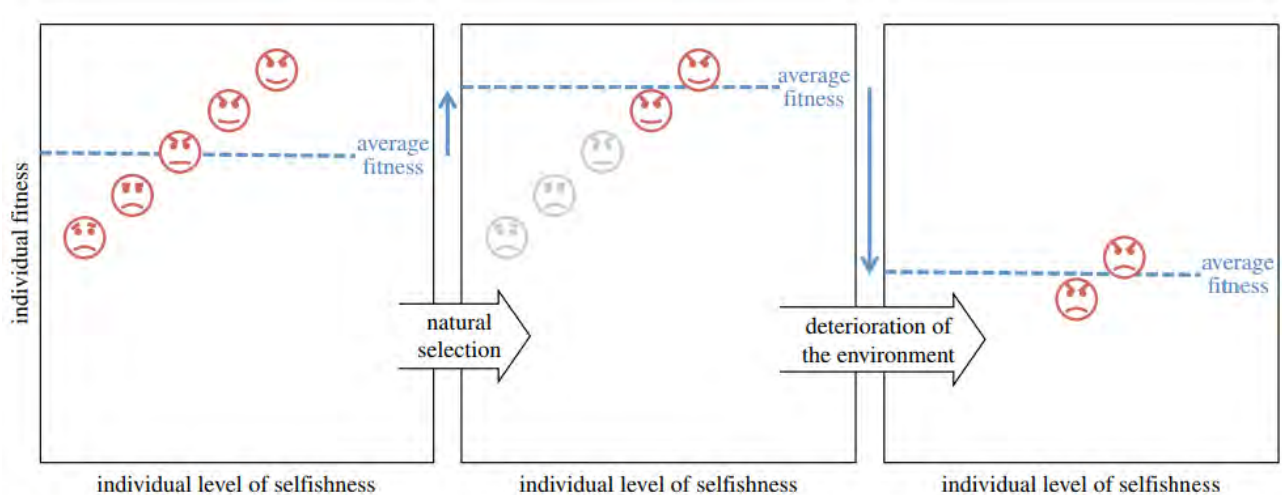
**Fig. 7.** Paisajes adaptativos. En la imagen se observa una población ascendiendo hacia los picos adaptativos, debido a la acción de la selección natural. En un paisaje estático, la población solo asciende hasta un pico adaptativo, el más cercano. Simulación realizada por Randy Olson y Bjørn Østman. Imagen adaptada de: <http://www.randalolson.com>

forma clásica como en la moderna, de forma directa desde la ecuación de Price. La idea básica detrás de entender a la selección natural como una fuerza que aumentaba la eficacia biológica era que Fisher estaba centrándose en la tasa de cambio *parcial* pero no en el cambio total de la eficacia. De este modo, no se tendría en cuenta los cambios en las frecuencias de alelos que no fueran aditivos. Esos otros cambios Fisher los colocó en un término denominado “ambiente”, el cual no solo hace referencia al ambiente externo de los individuos sino que engloba todos aquellos cambios en la eficacia que no resultan aditivos, como los casos de dominancia o epistasia. Es en este término “ambiente” donde los casos de selección dependiente de frecuencia o de densidad se manifiestan. Así la selección natural aumenta la eficacia biológica (primera parte de la ecuación) pero el “deterioro del ambiente” contrarresta dicha acción disminuyendo la eficacia (Fig. 8). Es por ello que se ha sugerido que dicha ecuación no persigue objetivos dinámicos sino que establece una situación de equilibrio casi perpetuo (la eficacia media se mantiene aproximadamente constante), al estilo de las leyes de conservación (Frank 2012b). Este “ambiente” queda plasmado en la interpretación moderna del teorema de la siguiente manera:

$$\Delta \bar{w} = \frac{V_a(w)}{\bar{w}} + E(\Delta w)$$

El primer término de la derecha representa el cambio en la eficacia debido a la selección natural y el segundo término el cambio en la





**Fig. 8.** Se muestra el cambio en la eficacia media debido a la selección natural y al deterioro del ambiente. En este ejemplo, el comportamiento egoísta es el más eficaz. Así, la selección favorece a los individuos egoístas, pero a su vez dicho comportamiento deteriora el ambiente social, reduciendo la eficacia de todos los genotipos. El resultado final es que la eficacia media de la siguiente generación disminuye respecto a la generación anterior. Figura extraída de Gardner 2017.

eficacia debido al “ambiente”. Observamos que el parecido con la ecuación de Price es más que obvio, donde todo el proceso evolutivo queda englobado en dos términos. De este modo, el primer término representa el cambio *parcial*, puesto que sólo es una parte del cambio total, y es al que se refería Fisher al elaborar su teorema.

### Conclusión

La vida de George Price estuvo marcada por la genialidad y la tragedia. Su inteligencia y particular manera de afrontar los problemas le permitió transitar por diferentes disciplinas, dejando en mayor o menor medida su impronta en todas ellas. Sus aportaciones a la biología evolutiva en tan solo ocho años fueron tan importantes como poco reconocidas en su momento. Richard Lewontin, uno de los más importantes biólogos evolutivos de la segunda mitad del siglo XX, se reunió con Price en 1969 pero, como le reconoció posteriormente en una carta disculpatoria en 1974, fue incapaz de entender la importancia y alcance de dicho trabajo (Harman 2011). A su muerte, solo unos pocos investigadores reconocían el valor del trabajo desarrollado por Price. Por suerte las buenas ideas son difíciles de matar. Durante las siguientes décadas y especialmente a partir de la reivindicación de la obra de Price por Steven Frank (1995, 2012a), los logros matemáticos y conceptuales de Price han sido cada vez más reconocidos. Sin duda su mayor legado es la ecuación que lleva su nombre y que ha supuesto un avance teórico crucial para la biología evolutiva. Los biólogos evolutivos de hoy en día, cada vez que usan la ecuación de Price o cualquier otro de sus trabajos e ideas, le realizan el mejor de los homenajes.

### REFERENCIAS

- Edwards, A.W.F. 1994. The fundamental theorem of natural selection. *Biol. Rev.* 69: 443-474.
- Fisher, R. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press, Oxford.
- Frank, S.A. 1995. George Price's contributions to evolutionary genetics. *J. Theor. Biol.* 175: 373-388.
- Frank, S.A. 2012a. Natural selection. IV. The Price equation. *J. Theor. Biol.* 25: 1002-1019.
- Frank, S.A. 2012b. Wright's adaptive landscape versus Fisher's fundamental theorem. Pp.41-57. *En: Svensson, E. y Calsbeek, R. (eds.), The Adaptive Landscape in Evolutionary Biology*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Gardner, A. 2017. The purpose of adaptation. *Int. Foc.* 7: 20170005.
- Helanterä, H. y Uller, T. 2010. The Price equation and extended inheritance. *Philos. Theor. Biol.* 2: 1-17.
- Harman, O. 2011. *The Price of Altruism*. Vintage Books, London.
- Kerr, B. y Godfrey-Smith, P. 2009. Generalization of the Price equation for evolutionary change. *Evol.* 63: 531-536
- Kuhn, T. 1970. Second thoughts on paradigms. Pp. 459-482. *En: Supper, F. (ed.), The Structure of Scientific Theories*. Univ. Illinois Press, Urbana.
- Luque, V.J. 2017. One equation to rule them all: a philosophical analysis of the Price equation. *Biol. Phil.* 32: 97-125
- Maynard Smith, J. y Price, G. 1973. The logic of animal conflict. *Nature* 146: 15-18.
- Morrissey, M.B., Kruuk, L.E. y Wilson, A. 2010. The danger of applying the Breeder's equation

- in observational studies of natural populations. *J. Evol. Biol.* 23: 2277-2288.
- Nowak, M. 2006. *Evolutionary Dynamics*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Okasha, S. 2008. Fisher's fundamental theorem of natural selection—A philosophical analysis. *Br. J. Philos. Sci.* 59: 319-351.
- Otsuka, J. 2016. Causal foundations of evolutionary genetics. *Br. J. Philos. Sci.* 67: 247-269.
- Price, G. 1970. Selection and covariance. *Nature* 227: 520-521.
- Price, G. 1972a. Extension of covariance selection mathematics. *Ann. Hum. Genet.* 35: 485-490.
- Price, G. 1972b. Fisher's 'fundamental theorem' made clear. *Ann. Hum. Genet.* 36: 129-140.
- Queller, D. 2017. Fundamental Theorems of Evolution. *Am. Nat.* 189: 345-353.
- Rice, S.H. 2004. *Evolutionary Theory: Mathematical and Conceptual Foundations*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

### Información del Autor

Víctor J. Luque es doctor en Filosofía de la Biología por la Universidad de Valencia, donde obtuvo también los másteres de Filosofía y Biología Evolutiva en 2012 y 2014, respectivamente. Su trabajo se centra en la estructura de la teoría evolutiva, sus modelos matemáticos y las causas de la evolución, sobre los que versó su tesis y cuyos resultados ha publicado en revistas internacionales. Es autor del libro *Selección, Adaptación y Darwinismo*. Actualmente prepara un nuevo libro sobre la teoría evolutiva a través del prisma de la ecuación de Price.

## La epistemología bajo la óptica de la biología evolutiva (I). Un modelo del funcionamiento de la capacidad cognitiva en aves y mamíferos

**Hernán Pérez Ramos**

Ave Costa Blanca,14, Playa San Juan, Alicante.

E-mail: puchoramos0562@yahoo.es

### RESUMEN

La epistemología es la ciencia que estudia cómo sabemos lo que sabemos. Ese es precisamente el propósito de este artículo, intentar describir y explicar cómo pudieran ser y funcionar los diferentes mecanismos y sistemas que integran nuestra capacidad cognitiva. En la primera parte de él intentaremos esbozar un modelo que nos permita comprender las interacciones que se establecen entre las diferentes estructuras cognitivas durante el proceso de confección de los nuevos conocimientos-comportamientos. *eVOLUCIÓN 13(1): 43-95 (2018)*.

**Palabras Clave:** Comportamientos base, Comportamientos complementarios, Sistema procesador de implicaciones causales de cadena corta, Sistema procesador de implicaciones causales de cadena larga, Matriz lógico comparativa, Sistema creatividad, Información de referencia, Áreas de asociación voluntaria de imágenes sensoriales multimodales, Plan motor.

### ABSTRACT

Epistemology is the science that studies how we know what we know. That is precisely the purpose of this article: to try to describe and explain how the different mechanisms and systems that integrate our cognitive ability could exist and operate. In the first part of this article, we will try to outline a model that allows us to understand the interactions established between the different cognitive structures during the process of preparation of the new knowledges-behaviors. *eVOLUCIÓN 13(1): 43-95 (2018)*.

**Key Words:** Behaviors base, Additional behaviors, Processor system of causal implications of short chain, Processor system of causal implications of long chain, Logical comparison matrix, System creativity, Information of reference, Areas of voluntary association of multimodal sensory images, Motor plan.

### Los diferentes tipos de comportamientos, los comportamientos base y los comportamientos complementarios

*¿Qué es un comportamiento base y qué es un comportamiento complementario?*

Para responder a esta pregunta debemos comenzar por describir cómo son los comportamientos.

El comportamiento base y la información de referencia

Un comportamiento base es conjunto de estructuras neuronales interconectadas que se encargan de que los sujetos den cumplimiento a una de las tareas sin las cuales la vida animal no existiría: guarecerse del frío o del calor, explorar el entorno, proteger el territorio, buscar agua y beber, huir de un peligro, buscar comida y comer, mantenerse alerta, evacuar residuos, buscar refugios en los que esconderse, marcar el territorio, descansar, proteger sus descendientes, reproducirse, etc.

Estructuras que integrarían un comportamiento base

Necesariamente un comportamiento base tendría que contar con una estructura (una o varias redes neurales) capaz de activarse cuando se diesen las condiciones que hacen preciso y o necesario que se cumpla con la tarea vital de la que se encarga. Y para hacer esto posible, la estructura central que acabamos de mencionar debe estar conectada a una segunda estructura: la red de información de referencia. La información de referencia (la información que se refiere al estímulo señal) es el alter ego en el cerebro del estímulo señal. Sería algo así como un “código” que cuando el tálamo de un sujeto sin corteza cerebral detecta la información correspondiente al estímulo señal o cuando se construye en un ave o mamífero la imagen (odorífica y o auditiva y o táctil, y o somática, y o visual, y o gustativa) correspondiente al estímulo señal, por coincidencia entre el estímulo señal que ha sido percibido y la información de referencia, esta última se activa. Y como la información de referencia está conectada al comportamiento base

(a la red o redes que es el comportamiento en sí), inmediatamente que esta se activa, se dispara el comportamiento base.

Permiso para ejecutar mi función

Pero el que un comportamiento base se haya activado no necesariamente quiere decir que se puede ejecutar de inmediato, esto quiere decir que no puede asumir el control del sistema motor para activar los procedimientos motrices que ejecutan las acciones relacionadas al cumplimiento de la función vital por la que se responsabiliza. ¿Por qué?

Al haber un solo cuerpo, lo normal es que siempre algún comportamiento esté al mando, empleándolo para ejecutar las acciones relativas a la tarea de supervivencia de la que se encarga. Pérez (2012). Por ello siempre es preciso que alguien (el comportamiento que está al mando u otro que pretende asumir el control) se inhiba para que otro comportamiento pueda acceder a las instrucciones motrices que controlan el soporte vital con la finalidad de cumplir con su propia tarea. Y aquí radica el gran dilema que tuvo que resolver la vida a través de selección natural para que pudiesen existir seres vivos con cerebro. ¿Qué funciones se ejecutan primero y cuales se ejecutan después? ¿Qué comportamientos se inhiben y cual se hace con el mando en el marco de una situación determinada? La solución empleada en las plantas no sirve para los animales, estas disponen, como los robots, de un programa rector que decide en cada momento que se hace. Y por muchos años que lleve actuando la selección natural, es completamente imposible escribir un programa rector para un animal debido a que las condiciones en las que vive y los retos a los que tiene que enfrentarse, además de que son cuantiosamente diversos, cambian incesantemente. ¿Cómo se solucionaría por selección natural este problema de la priorización para que pudiesen existir los animales complejos?.

Interrumpimos por un instante la descripción de los diferentes tipos de comportamientos.

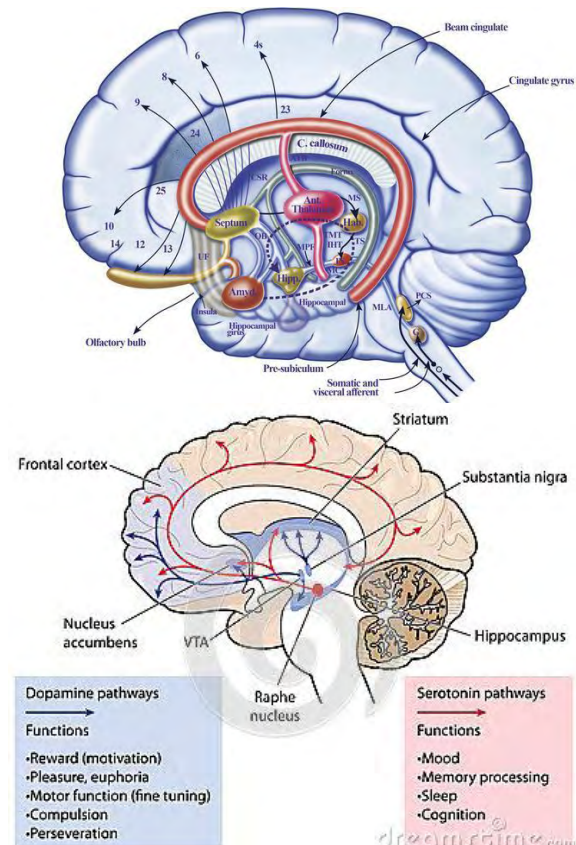
*El Mecanismo de Priorización. El mecanismo que nos permite acertar a la hora de priorizar el cumplimiento de determinada tarea en detrimento de otras*

El Sistema Emocional, el Sistema Motivacional y el Mecanismo de Castigo y Recompensa

Si no hay programa rector, no puede haber ente rector, así que no queda otra opción que pensar que los diferentes comportamientos que componen un animal deciden entre ellos, de forma consensuada, quién se activa y quienes se inhiben y para que esto pudiera suceder, necesariamente

tuvieron que surgir el Sistema Emocional, el Sistema Motivacional y el Mecanismo de Castigo y Recompensa.

¿Cómo logra un comportamiento específico que el resto de comportamientos se inhiba? Utiliza, para ello, el Sistema Emocional, El Sistema Motivacional y el Mecanismo De Castigo Y Recompensa. Cada comportamiento (hambre, sed, sueño, curiosidad, deseo sexual, cansancio, miedo, furia, etc.), su núcleo central, cuenta con otros núcleos capaces de generar sensaciones y emociones particulares que indican el resto del individuo (a los otros comportamientos base y complementarios) que es preciso que se inhiban para que le permitan ejecutarse. Además, los comportamientos, el núcleo central, contaría con una importante conexión con el Sistema Motivacional, ella es la que les otorga la capacidad de activar con mayor o menor intensidad (aumentando o disminuyendo la cantidad de receptores dopaminérgicos) la sensación de que es necesario desempeñar la tarea vital de la que se encarga. Y, por último, el núcleo central de cada comportamiento dispondría de importantísimas conexiones con los Mecanismos de Castigo y Recompensa. A través de ellas premia con sentimientos de satisfacción, bienestar, vitalidad, euforia y regocijo al resto de comportamientos por permitirle haber cumplido con su función o les castiga con sentimientos de tristeza, malestar, vergüenza, insatisfacción, falta de vitalidad por no habérselo permitido.



**Fig. 1.** Sistema Emocional y Sistema Motivacional.

Repitémoslo, estos mecanismos son los que hacen que un comportamiento ajeno a la función vital que es preciso desempeñar en el marco de unas condiciones concretas, “decida” inhibirse para permitir la actuación del comportamiento responsable de dicha tarea. Esto quiere decir que la inhibición de uno de estos comportamientos vitales no es consecuencia de una imposición externa, sino que probablemente es una “decisión” particular de cada uno de ellos, o sea, los comportamientos que componen un individuo actúan con independencia relativa los unos de los otros. Pérez (2012).

#### *Retomamos la descripción de los diferentes tipos de comportamientos*

El Autoprotección, el comportamiento base auxiliar

El comportamiento base Autoprotección está compuesto de dos comportamientos Enfado-Ataque y Miedo-Huida, su misión no consiste solo en protegernos a nosotros, sino que también protege nuestras pertenencias: mi refugio, mi espacio en el abrevadero, mi comida, mi territorio, mi pareja, mi hijo (sean huevos o nacidos), etc. En cada uno de estos casos el comportamiento base Autoprotección (Miedo-Huida o Enfado-Ataque) se activa como resultado de la petición de otro comportamiento Base. Por ejemplo, el comportamiento Enfado-Ataque hace que nos enfrentemos a un rival por una hembra actúa auxiliando al comportamiento Apareamiento. Del mismo modo cuando una madre macaco tira de su hijo que se ha soltado para que no caiga de la rama es su Comportamiento Miedo-Huida quien se ejecuta para auxiliar al comportamiento Instinto Maternal. Esta es la razón por la que el comportamiento Autoprotección es un comportamiento base auxiliar.

#### *Comportamiento complementario*

Un comportamiento complementario, como su nombre lo indica, complementa al comportamiento base. Es un conjunto de estructuras neuronales interconectadas al comportamiento base que se encargan de que el sujeto desempeñe determinado conjunto de acciones relacionada con la función vital de la que se responsabiliza el comportamiento base al que el comportamiento complementario está unido. Para ello el comportamiento complementario está conectado a una serie de programas motrices de acción y control que son quienes se encargan de ejecutar el procedimiento específico que dará cumplimiento a la función vital. Si el comportamiento base es el director, el comportamiento complementario es el ejecutor.

#### Tipos de comportamientos complementarios

Los comportamientos complementarios suelen ser de dos tipos: directos, cuando su cometido está directamente relacionado con la función vital para la que trabaja en un momento determinado o indirecto, cuando su cometido contribuye al buen desempeño de una función vital pero no está directamente relacionado con esta. Ilustrémoslo.

El macho de rape blanco (*Lophius piscatorius*) muerde a la hembra en el bajo vientre y se introduce en su cuerpo (Soler 2012). Este es el comportamiento complementario directo innato del comportamiento Apareamiento de esta especie.



**Fig. 2.** El rape macho muerde a la hembra y se mete dentro de ella. Este es el comportamiento complementario del comportamiento base Apareamiento del rape blanco.

Los machos de papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) viajan primero a las zonas de apareamiento, eligen territorio tomando posesión de ellos, cantan para advertir a otros machos que se acerquen que se trata de una zona propiedad privada de quien está cantando. Y defienden sus territorios contra quienes intentan apropiarse de ellos (Soler 2012). Esto es un comportamiento complementario indirecto del comportamiento Apareamiento

Los gallos (*Gallus gallus domesticus*) regulan la cantidad de espermatozoides que depositan en una hembra en dependencia de si son machos dominantes o subordinados y dependiendo también del número de cópulas que han tenido con la misma gallina (Cornwallis y Birkhead 2006). Esto es un comportamiento complementario directo innato del comportamiento apareamiento.

El acentor común (*Prunella modularis*) macho antes de copular picotea la cloaca de la hembra con la intención de extraer el esperma depositado allí por otros machos (Davies 1983). Este es un comportamiento complementario indirecto del comportamiento Apareamiento. Durante el período fértil las mujeres tienen más interés en otros hombres que en sus parejas, sobre todo si son de mayor calidad genética (Soler 2012). Por su parte los hombres se muestran más agradables, atentos y celan más a sus parejas durante el período fértil (Soler 2012). Estos dos son comportamientos complementarios directos innatos del comportamiento Apareamiento.

La hembra de *Estegodypus linatus* una especie de araña que abre el capullo en el que están sus hijas antes de que estén completamente formadas, a partir de aquí las alimenta de un líquido que regurgita y luego de dos semanas les permite alimentarse de ella misma (Schneider 1995). Este es un comportamiento complementario directo (innato) del comportamiento Instinto maternal.

Los lémures de Madagascar se alimentan de unos miriápodos que secretan una sustancia sumamente desagradable en cuanto se sienten amenazados. Ello hace que hayan desarrollado el comportamiento de escupir sobre los miriápodos y después restregarlos concienzudamente empleando ocasionalmente sus colas para evitar tocarlos con la mano, hasta que estos hayan soltado toda la sustancia desagradable. Solo entonces se los comen (Gómez 2007). Este es un comportamiento complementario directo aprendido del comportamiento Nutrición.

### La información de referencia

#### *Información de referencia innata e información de referencia aprendida*

Estos comportamientos complementarios, cuando su grado de complejidad es muy bajo, pueden ser activados por la información de referencia que activa al comportamiento base al que están adscritos, pero si su grado de complejidad es alto van a disponer de su propia información de referencia. Por ejemplo. Los pollos del aguilucho cenizo (*Circus pygargus*) intentan alargar con sus gritos, exigiendo alimentos, el período durante el cual son cuidados por los progenitores cuando el alimento recibido durante la crianza ha sido escaso y o de poca calidad (Arroyo et al. 2002) Aquí podemos observar como la propia información de referencia del comportamiento base Nutrición (la bajada de glucosa en sangre) es quien activa el comportamiento complementario (el desmesurado incremento de la actuación los procedimientos motrices que ejecutan los gritos de pedida de alimento).



**Fig. 3.** En épocas de carestía los pollos aguilucho cenizo intentan alargar el período durante el cual son alimentados por sus progenitores. Esto lo hacen debido a que disponen de información de referencia innata (correspondiente al comportamiento base) que hace que se dispare este comportamiento complementario cuando las condiciones lo precisan.

#### *Información de referencia genética. No hay aprendizaje*

La *Aplysia*, liebre de mar, es un organismo que nos ha permitido estudiar a fondo como se produce el aprendizaje a nivel neuronal. Con menos de 20000 neuronas divididas en sensoriales y motoras reacciona cerrando las branquias en cuanto los científicos le disparan un chorro de agua. Con la repetición del experimento la *aplysia* deja de cerrar las branquias cuando aprende que el agua no es dañina, sus neuronas sensoriales siguen activándose cuando detectan el agua a presión, pero el potencial de acción deja de llegar a las neuronas motrices y en consecuencia no se produce la contracción de las branquias (Kandel 2007) ¿Qué es lo que ha aprendido la *aplysia*?

Para responder a esta pregunta veamos primero que sucede a las ranas. La inmensa mayoría de las especies de ranas mueren de hambre rodeadas de moscas, uno de sus alimentos preferidos, si están muertas. Ello nos revela que la información de referencia, el código (información) que activa el comportamiento Nutrición de una rana corresponde a las características de un pequeño animal oscuro que constantemente revolotea de un lado para otro. La rana es incapaz de aprender que una mosca muerta también es comida, es decir, no puede integrar información de referencia a lo largo de su vida, esto es solo lo pueden hacer quienes poseen corteza cerebral. Teniendo esto en cuenta, ¿qué es lo que aprende la liebre de mar?

Como podemos apreciar en la descripción del experimento, la *aplysia* cuenta con la información de referencia que corresponde a las características normales del medio en el que vive, una vez que



www.alamy.com - BAM6J5

**Fig. 4.** La aplysia no aprende nada que no hayan aprendido sus genes con anterioridad. Por lo que este caso se trata de un pseudoaprendizaje.

se produce una variación de esas características normales (aparece el estímulo señal) se activa esta información de referencia que está directamente conectada a los programas motrices que cierran las branquias porque para la selección natural es preferible precaver a que muera el sujeto. Pero cerrarse a los cambios no es bueno debido a que una variación en el hábitat, que no es perjudicial, podrá ser beneficiosa. Así que por selección natural tubo que desarrollarse la posibilidad de desconectar la información de referencia de los programas motrices que cierran las branquias una vez que se comprueba que el cambio no es perjudicial. Todo esto nos indica que estamos ante un pseudo aprendizaje debido a que este es completamente preprogramado por selección natural. Por su parte las truchas *salmo trutta* que se les libera del anzuelo y se devuelven al agua se hunden hasta el fondo y se alejan inmediato del lugar en el que fueron pescadas y evitan volver a picar el anzuelo durante todo un mes, esto usualmente es interpretado como aprendizaje. Sin embargo, son sus genes quienes las han programado por selección natural para que se alejen del lugar en el que ha corrido riesgo sus vidas.

El aprendizaje genético no solo existe en los otros animales, sino que también es la base mnésica sobre la que se erige todo el sistema cognitivo que atesoramos los miembros de nuestra especie. Por ejemplo, estamos jugando al fútbol y nos damos un golpe en la espinilla, el tremendo dolor que ello nos genera convierte las imágenes de la escena que acabamos de vivir, me doy un golpe en la espinilla (imagen causa) siento un mucho dolor (imagen consecuencia), en una memoria (en información de referencia) adscrita a la respuesta Miedo-Huida del comportamiento Autoprotección. A partir de este momento dicha información de referencia se encenderá en la mente cada vez que estemos en una situación que pudiera conducirnos a recibir un golpe en la

espinilla, activando de inmediato el comportamiento Miedo-Huida, por estar adscrita a este. La sensación de miedo que sentimos en ese instante paraliza de manera automática nuestra acción y ello evita que nos demos otro golpe.

En resumen, ni la liebre de mar, ni las truchas, ni las ranas aprenden nada que no hayan aprendido antes sus genes. Ahora nos toca analizar la información de referencia memética (la información de referencia que se genera mediante el verdadero aprendizaje).

### Información de referencia memética

*¿Por qué surge la posibilidad de crear información de referencia por vía no genética?*

Aunque tendrían que dedicar una gran cantidad de recursos energéticos al mantenimiento del mecanismo encargado, la posibilidad de elaborar información de referencia por vía no genética representaría una gran ventaja a los portadores del sistema capaz de hacerlo. Veamos un par de ejemplos.

En las marismas de Carolina del Sur los delfines mulares (*Tursiops truncatus*) han desarrollado la estrategia de utilizar la pendiente de arena de las playas para pescar. Cuatro o cinco sujetos nadan sincronizadamente hacia la orilla después de haber acorralado a los peces, el resultado es una ola perfecta que empuja y saca del agua a sus presas dejándolas embarrancadas en la arena. En este instante la información de referencia genética de los peces, estoy en peligro, activa el comportamiento de escape que no es otro que nadar con fuerza. Pero al estar fuera del agua los movimientos natatorios les hacen dar saltos que muchas veces los introducen en la boca de los delfines quienes están a la espera, ya que la información de referencia anexa al comportamiento complementario del comportamiento Nutrición que acaban de ejecutar, les indica que los peces van a dar saltos y solo tienen que estar atentos para dirigir su boca abierta hacia ellos para capturarlos con extrema facilidad. Por otra parte los delfines han logrado desarrollar procedimientos motrices (que como todos los comportamientos no genéticos se confeccionan a partir de conocimientos) que les permiten desembarancar sin dificultades y volver al agua, sanos y salvos y, sobre todo, con la barriga llena. Sin lugar a dudas la posibilidad de confeccionar a voluntad información de referencia (conocimientos) ofrece ventajas incuestionables a quienes disponen de este sistema mnésico, pero, aquí se nos plantea un serio interrogante: si la información de referencia innata está directamente conectada al comportamiento que debe dar respuesta al estímulo que se presente, cómo entonces puede añadirse nueva información de referencia.



**Fig. 5.** Delfines pescando en las marismas de Carolina del Sur. Este es un ejemplo de verdadero aprendizaje en el que un conocimiento se transforma en un comportamiento que da al sujeto una ventaja incuestionable, ventaja que, como se muestra, no disfrutaban las especies incapaces de elaborar verdaderos conocimientos.

Franz de Waal (2015) nos cuenta que una cría de orangután se había liado el cuello con una cuerda y su madre tiraba de ella para liberarla. Los cuidadores que intentaron intervenir fueron rechazados por la progenitora y el intento de rescate se hizo tan frenético que la madre terminó por dislocar el cuello de la cría. Veamos el caso contrario, un chimpancé de cuatro años estaba a punto de ahogarse colgando de una cuerda que se le había enredado en el cuello, el animal se debatía en silencio mientras agitaba los pies. En este momento el macho más viejo y dominante del grupo acudió en su ayuda ofreciéndole un brazo con el que tiró del joven hacia arriba para liberar la tensión de la cuerda al mismo tiempo que con la otra mano desenroscaba las dos vueltas que la cuerda daba alrededor del cuello. Luego llevó al joven al grupo y lo dejó con cuidado en el suelo. El problema se solucionó en segundos con solo unos movimientos rápidos de manos (Waal 2015). Este ejemplo nos permite ver claramente la enorme ventaja que ofrece a su portador la posibilidad de elaborar información de referencia (en este caso conocimientos acerca de la relación de las cuerdas con los cuellos). Pero ahora no profundizaremos más en él porque más adelante lo analizaremos a fondo.

#### *La desconexión entre la información de referencia y el comportamiento base*

Necesidad de la desconexión entre la respuesta base y la información de referencia innata

¿Por qué es necesario que la información de referencia innata esté desconectada del comportamiento base en el momento de nacer para que se pueda incorporar nueva información de referencia y para que esta, como veremos más adelante, se

convierta en un nuevo comportamiento? Posteriormente analizaremos como los chimpancés son capaces de descubrir las relaciones causales entre objetos, fenómenos y sus acciones, conocimiento causal que les permite usar herramientas, al convertir dichos memes en comportamientos. Pero sin embargo hay algunos comportamientos que son por completo incapaces de desarrollar (Köhler 1927), al mismo tiempo que descubría la gran capacidad de los chimpancés para establecer relaciones causales de gran complejidad se sorprendió al ver que sus pupilos fracasaban en tareas realmente muy sencillas, como el ser capaces de obtener de un palo sujeto a un clavo por medio de una argolla. Los chimpancés siempre tiraban del palo hacia ellos cuando la solución era mover el palo en dirección contraria para desengancharlo de la argolla. También Köhler comprobó que los chimpancés nunca fueron capaces de utilizar un palo para arrastrar comida hacia ellos cuando el movimiento inicial requería alejar la comida de sí, por ejemplo, empujar la comida hacia atrás o hacia atrás y al lado para sortear algún obstáculo. ¿Por qué los chimpancés de Köhler fueron capaces de desempeñar comportamientos en los que se evidenciaba comprensión causal compleja (utilizar un palo para alcanzar unos plátanos que colgaban de lo alto) al mismo tiempo que fueron incapaces de ejecutar comportamientos en los que la comprensión causal requerida era de menor complejidad? El hecho de que puedan confeccionar información causal compleja hace evidente que el problema no radica en defectos de la capacidad cognitiva, por lo que en consecuencia tenemos que pensar que la posibilidad de anexar nuevos conocimientos solo es posible si en el cerebro existen las condiciones necesarias e imprescindibles para que esto suceda. ¿Qué circunstancias, además de poseer capacidad para elaborar conocimientos, hacen que un cerebro pueda integrar nueva información de referencia? La propia esencia del problema que se muestra en la dificultad de los chimpancés para aprender comportamientos contrarios al comportamiento innato que se encarga de que nos apropiemos de cosas, podría ser la respuesta.

Veamos. Debe existir un comportamiento complementario innato del comportamiento Nutrición que se encarga de que podamos apropiarnos de cosas como frutas o instrumentos con que atraparlas. Dicho comportamiento se activaría con la visión de una pieza de fruta y después de encender los mecanismos emocionales y motivacionales pertinentes activaría el procedimiento motor que atrae la fruta o la herramienta hacia nosotros. Si en el momento de nacer dicha información de referencia (la imagen de una fruta o de una herramienta con que obtenerla) no está desconectada del comportamiento complementario innato que acabamos de mencionar, siempre que percibamos la fruta o la



herramienta se activarán los resortes emocionales y motivacionales creando la necesidad de atraer hacia nosotros el alimento o el instrumento y sucesivamente se disparará el procedimiento motor que se encarga de ello. Esto precisamente podría ser lo que sucede a los chimpancés, ellos, aunque su capacidad cognitiva les fabrique el conocimiento de que hay que empujar el palo hacia arriba (imagen causa) para desengancharlo de la argolla (imagen consecuencia), información causal extremo sencilla, no podrían integrarla al comportamiento complementario que se encarga de que nos apropiemos de las cosas porque este, al estar conectado de nacimiento a la información de procedimiento, se dispara siempre que se percibe el estímulo señal haciendo que el chimpancé tire en su dirección para atraer tanto la fruta como el palo que le permitirá acercarla.

Por lo tanto, solo si en el momento de nacer traemos desconectada la información de referencia (la imagen de la fruta o del instrumento que nos permitirá cogerla) de este comportamiento complementario del comportamiento Nutrición, podrá anexarse la nueva información, este caso de procedimiento, que hace posible la variación del comportamiento complementario mediante el cual nos apropiamos de cosas. En este caso se trataría de la información de que es preciso empujar la fruta hacia atrás primero (imagen causa) para sortear un obstáculo (imagen consecuencia) o de que hay que empujar el palo hacia atrás (imagen causa) para desengancharlo de la argolla (imagen consecuencia) para luego activar el comportamiento complementario innato que atrae estas cosas hacia nosotros. Más adelante explicaremos como un nuevo conocimiento (primero hay que empujar la fruta hacia atrás para sortear un obstáculo) podría convertirse en un nuevo comportamiento complementario, por ello no nos meteremos en este asunto ahora.

La separación entre el comportamiento base (el programa matriz) y la información de referencia proporciona una mayor plasticidad comportamental

Ahora nos gustaría recalcar la idea de que este es un valioso ejemplo que parece decirnos que solo se puede anexar nueva información de referencia cuando de nacimiento traemos desconectados los comportamientos base de sus respectivas informaciones de referencia. Esta idea la refuerza el hecho de que los endotérmicos, en especial los primates, afronten largos períodos de infancia en los que están completa o parcialmente discapacitados para valerse por sí mismos, hace posible que los sujetos complementen sus adaptaciones comportamentales durante la ontogenia. La ventaja de esto es que proporciona una mayor plasticidad en la conducta lo que se convierte en una mejor capacidad de adaptación (Gómez

2007; Bruner 1972). “Quizás un efecto importante de la inmadurez matriz con la que nacemos los primates sea que favorece la construcción inicial de representaciones perceptivas (imágenes y conocimientos) independientes de las representaciones matrices (comportamientos)” (Gómez 2007). Veamos un par de ejemplos que nos muestran la separación entre la respuesta base o alguno de sus comportamientos complementarios y la información de referencia que debería activarlos.

*Ejemplos de separación entre el comportamiento base y la información de referencia.*

Los bebés de mono tota aprenden lo que significan las palabras que dicen

Los monos tota *Chlorocebus aethiops* o monos verdes disponen de un conjunto de sonidos diferenciados que les permite identificar a cada uno de los depredadores a los que se enfrentan, un sonido para las águilas, otro para los leopardos, otro para las serpientes, cuando se trata de chimpancés no emiten sonido alguno y también tienen sonidos particulares para identificar la situación de acercarse a otro grupo de totas o para cuando se alejan de ellos. También los tota disponen de un comportamiento de escape específico para cada tipo de depredador, cuando se trata de un leopardo suben al árbol lo más rápido y alto que pueden, cuando se trata de una serpiente se levantan en dos patas y buscan al ofidio y cuando se trata de un águila los tota descienden a toda carrera del árbol y se ocultan tras arbustos en el suelo. Está demostrado que la capacidad de emitir estos sonidos es innata lo que quiere decir que ante la visión de un depredador (estímulo señal) se dispara la información de referencia pertinente (por ejemplo, la imagen de un leopardo) y esta enciende el sistema emocional motivacional y consecutivamente activa el procedimiento motor que ejecuta la producción del sonido que se refiere al leopardo. Seyfarth y Cheney (1980) descubrieron que cuando los totas nacen disponen de una información muy elemental acerca de las características físicas y de comportamiento de sus depredadores habituales, por ejemplo, emiten el sonido correspondiente al águila cuando ven cualquier pájaro o simplemente cuando cae una hoja del árbol. Pero con el tiempo esta información de referencia va admitiendo nuevos conocimientos (características físicas y de comportamiento) acerca del único tipo de ente (el águila) que al ser percibido debe activar el sonido de alerta ante las águilas, esto es lo que hace posible que los jóvenes tota restrinjan sus llamadas de depredador aéreo únicamente a la presencia amenazadora de un águila.



**Fig. 6.** Es posible que los monos tota puedan afinar sus “conceptos” acerca de los depredadores que les atacan gracias a que en el momento de nacer la información de referencia que debe activar el comportamiento Miedo-Huida está separada de este comportamiento base.

¿Qué es lo que hace posible que los monos tota anexen nuevos conocimientos a la información de referencia que disponen al nacer acerca de sus depredadores habituales?

Desde la más temprana infancia, cuando aún son crías en brazos de sus madres y todavía no se dispara el comportamiento motor específico que les permitirá, por ejemplo, escapar del leopardo, los totas emiten la llamada de huida para este depredador. Circunstancia que quiere decir que los tota traen sus distintos comportamientos complementarios de huida separados de las diferentes informaciones de referencia que los activan, es decir, el comportamiento de subir lo más alto y más rápido posible al árbol está separado de la imagen del leopardo que se forma en su cerebro cuando percibe a este depredador. ¿Qué ventajas proporciona este hecho? Si el comportamiento complementario que hace que un tota baje a toda carrera del árbol cuando divisa un objeto volador estuviera conectado a la información de referencia (para depredador aéreo) que traen los tota al nacer, cada vez que el sujeto viese algo que vuela por encima de su cabeza emitiría la llamada de depredador aéreo y en consecuencia, al dispararse constantemente este comportamiento de huida no se integrarían los nuevos conocimientos que hacen que un tota reduzca su “concepto” de depredador aéreo únicamente a las águilas. De aquí que pensemos que el hecho de que los tota al nacer traen desconectada la información de referencia del comportamiento complementario que esta debe activar es lo que hace posible que se integren nuevos conocimientos a la información de referencia.

Los bebés rhesus no temen a las serpientes

La primera vez que se le presenta a un bebé de macaco rhesus una serpiente no se asusta, pero si en un segundo momento se le presenta, conjunta-

mente con la imagen del ofidio, la imagen de un semejante asustado el bebé rhesus entra en pánico. El control de este experimento se hace presentando al macaco la imagen de una flor al mismo tiempo que ve la imagen de un semejante asustado, no ocurriendo en este caso ninguna respuesta de alarma (Mineka 1984). Este experimento pone en evidencia que el comportamiento base Miedo-Huida de un macaco rhesus cuenta, como información de referencia, con la información acerca de las características de una serpiente. Y el hecho de que en el primer momento el estímulo señal (la serpiente) no sea capaz de activar el comportamiento de miedo nos dice que la información de referencia (la información acerca del ofidio que trae el macaco de serie) está separada del comportamiento base. En un segundo momento cuando se añade a la imagen de la serpiente la imagen de otro rhesus asustado (información de referencia que el sujeto integra en ese mismo instante, probablemente gracias al su mecanismo de cognición encarnada (De Waal 2015) el bebé se asusta, lo que quiere decir que esta nueva información de referencia “cierra el circuito” información de referencia-comportamiento base Miedo-Huida. Este ejemplo pone de manifiesto que para poder integrar nueva información de referencia, por selección natural, predeciblemente se separó el comportamiento base de la información que debería activarlo en los sujetos que pasan un largo período de tiempo al cuidado de sus padres, para de esta manera hacer posible la integración de nueva información de referencia obtenida mediante el aprendizaje vivencial. Pero el mecanismo de cognición encarnada (Pérez 2016) solo es el primer paso en la confección de información de referencia. Todavía tenemos que describir el otro gran sistema que se encarga de esta labor. La capacidad de confeccionar conocimientos.



**Fig. 7.** Los macacos rhesus, predeciblemente como todos los primates, cuando nacemos traemos la información de referencia que debe activar el comportamiento base Miedo-Huida separada de este. Ello pudiera ser lo que hace posible que podamos desarrollar una rica y extensa variedad de información de referencia (conocimientos) acerca de los peligros a los que nos enfrentamos.

*La función ejecutiva, la inmensa mayoría de las veces, se desempeña automáticamente por intermedio del sistema de asas*

Como se acaba de exponer, los comportamientos complementarios no necesitan de la capacidad cognitiva los active cuando se precisa que se encarguen la función para la que existen. Esto sucede de manera automática por intermedio del sistema de asas, es decir, gracias a la similitud entre el estímulo señal que se presenta y la información de referencia que forma parte del comportamiento. Veamos.

La función ejecutiva es la capacidad para organizar temporalmente la conducta

Imaginemos que hacemos una tortilla de patatas. En el marco de la actividad principal se intercalan una serie de actividades auxiliares como pelar las patatas, o puede que comprar aceite de freír si no tenemos, o fregar bien la sartén para que no se pegue la tortilla. La capacidad para organizar en el tiempo y el espacio un conglomerado de tareas auxiliares distintas (*pelar las patatas, comprar el aceite y fregar la sartén*), encaminadas a cumplir un plan de acción más general (*hacer la tortilla*) Y la capacidad para que este se vaya ejecutando organizadamente sin que ninguna otra cosa nos distraiga de su cumplimiento es lo que llamamos *función ejecutiva*.

¿Es la capacidad cognitiva, la capacidad para crear conocimientos, la función ejecutiva?

No sin razón se piensa que nuestra capacidad cognitiva, el pensamiento, es quien se encarga, en la Corteza Prefrontal Dorsolateral, de realizar el trabajo de encadenar y secuenciar convenientemente el conjunto de tareas auxiliares que componen un determinado comportamiento-procedimiento. Ello es lo que nos conduce a pensar que las estructuras mnésicas son quienes se encargan de la función ejecutiva. ¿Es esto así?

Para que puedan estructurarse estos planes de acción complejos, en los que en el marco de la tarea general se incluyen varias tareas auxiliares, distintas de la acción general, pero necesarias para su cumplimiento, es necesario que el sujeto sea capaz de establecer contingencias en el tiempo. ¿Qué quiere decir esto?

Como acabamos de mencionar, en el marco del comportamiento-procedimiento general (hacer una tortilla de patatas) van incluidos comportamientos-procedimientos auxiliares (como el de pelar la patata o el de calentar el aceite) que tienen que ser ejecutados en un momento determinado de la acción debido a que el resultado de los mismos (las patatas peladas y cortadas o el aceite caliente) es imprescindible para poder continuar ejecutando el comporta-

miento-procedimiento general (hacer la tortilla). Esto implica que para poder confeccionar un comportamiento complejo (formado por varias acciones distintas) como este, la capacidad mnésica necesariamente tiene que ser capaz de elaborar conocimientos que permitan predecir el futuro (saber que si freímos las patatas hasta que estén doradas y blanditas (imagen causa) la tortilla sabrá mejor (imagen consecuencia), saber que si no fregamos bien la sartén (imagen causa) la tortilla se pegará (imagen consecuencia)) y establecer mecanismos de vigilancia que nos permitan mirar al pasado para verificar si se han cumplido los objetivos de las tareas auxiliares (comprobar si el aceite está caliente, la sartén fregada o si las patatas están bien peladas). (Junqué y Cardoso 2009; Kolb y Whichaw 2006; Tirapu et al. 2008).

Importancia de la capacidad de predecir el futuro a la hora de confeccionar un comportamiento-procedimiento complejo

A lo largo de este artículo explicaremos que la capacidad de predecir el futuro emana de la propia esencia de los conocimientos que confecciona nuestra capacidad mnésica, debido a que ellos son asociaciones de imágenes temporalmente continuas (causales o no causales) que al encenderse en nuestra mente de manera consecutiva nos permiten visualizar lo que sucederá en el futuro.

En la corteza prefrontal dorsolateral de los primates se han detectado neuronas que parecen predecir acciones del futuro inmediato, ello nos conduce a suponer que es posible que estas formen parte de los conocimientos que les permiten saber lo que sucederá como resultado de una acción y, en consecuencia, parte también de los comportamientos-procedimientos que les permitirán desarrollar una acción compleja (integrada por varias acciones auxiliares) destinada a conseguir determinados resultados.

Para confeccionar un nuevo comportamiento-procedimiento general también es preciso que se tenga la posibilidad de incluir en el plan de acción general determinados comportamientos de verificación o vigilancia dedicados a certificar si se van obteniendo o no los resultados esperados al desempeñar los comportamientos auxiliares (por ejemplo, comportamientos destinados a verificar-vigilar si las patatas han quedado bien peladas o que no se quemem), estos son los programas de vigilancia y verificación. Estos comportamientos de vigilancia se forman a partir de nuestros conocimientos, (por ejemplo, si no vigilamos que las patatas se doren demasiado terminarán quemándose) una vez que este conocimiento se conecta con el comportamiento Nutrición se convierte en el comportamiento que nos crea la necesidad de vigilar que las patatas no se chamusquen.

En la corteza prefrontal Dorsolateral de los primates se han encontrado células, relacionadas con la memoria, que “miran” al pasado, hacia la información sensorial que refleja lo que ha sucedido segundos o minutos antes. La existencia de estas neuronas nos permite pensar que es posible que los monos posean esta variedad de conocimiento-comportamiento de vigilancia destinada a verificar el resultado de las diferentes acciones auxiliares que componen un comportamiento-procedimiento general. (Junqué y Cardoso 2009; Kolb y Whichaw 2006; Tirapuet al. 2008).

Los argumentos que acabamos de exponer nos animan a dar por hecho que nuestra capacidad cognitiva, nuestro pensamiento, es quien se encarga siempre de la función ejecutiva, sin embargo, contra esta idea se erige un recuerdo que todos tenemos en la memoria.

#### Hacer cuatro cosas al mismo tiempo

Quien de pequeño no vio a su madre plancharle el uniforme de la escuela al mismo tiempo que hacía el desayuno para toda la familia, le ponía los zapatos a su hermana y le daba el biberón a su hermano pequeño. El funcionamiento de las estructuras mnésicas, la capacidad para resolver problemas y desarrollar nuevos conocimientos-comportamientos mediante el pensamiento es extremadamente lenta, esto lo podemos constatar fácilmente cada vez que intentamos aprender a hacer algo por primera vez. Y como ese primer aprendizaje requiere que extraigamos información de las diferentes memorias y las proyectemos en la mente, cuando estamos confeccionando un nuevo conocimiento-comportamiento somos incapaces de percibir correctamente el entorno. Es por ello que cuando nos distraemos con algún pensamiento, se nos quema el arroz o se nos pasa la calle por la que tenemos que coger. Estas dos circunstancias nos permiten afirmar que si nuestra madre habría tenido que pensar como hacer una sola de esas tareas no habría podido hacer ninguna de ellas. Ello claramente nos dice que, aunque es la capacidad cognitiva quien en un inicio confecciona la secuencia de acciones auxiliares que componen un comportamiento-procedimiento (planchar la ropa, cocer un botón o hacer un batido de plátano) una vez que estos comportamientos son capaces de funcionar correctamente la capacidad cognitiva deja de intervenir en su ejecución y estos comienzan a ser ejecutados de manera automática por intermedio del sistema de asas (la similitud entre los acontecimientos que se viven y la información de referencia que activa el comportamiento). Pero esto no es suficiente, para que un comportamiento-procedimiento complementario complejo se pueda ejecutar es preciso que la secuencia visual rectora que le indica al sujeto que es lo que debe hacer en cada momento

se mantenga encendida en la mente para que de esta manera se puedan visualizar en su correcto orden de ejecución las múltiples tareas auxiliares y de vigilancia que componen el comportamiento-procedimiento. Y si no están las estructuras cognitivas para encender esta secuencia en la mente, ¿quién lo hace? ¿Quién es el que se encarga de que un comportamiento complementario complejo (con múltiples tareas auxiliares y de vigilancia) pueda hacer su función, ¿quién es ese magnífico y polifacético director de orquesta que le permitía a su mamá hacer cuatro tareas distintas a la vez sin tener que pensar?

#### La memoria de trabajo

¿Qué es la memoria de trabajo? La memoria de trabajo es una parte fundamental de las funciones ejecutivas, a nivel neuropsicológico se considera que la corteza prefrontal dorsolateral activa y mantiene activada una determinada red de neuronas corticales durante todo el tiempo que la información que contiene dicha red es empleada en la planificación y o para la ejecución de un determinado comportamiento-procedimiento. (Junqué y Cardoso 2009; Kolb y Whichaw 2006; Tirapu et al. 2008). La memoria de trabajo es quien proyecta y mantiene encendida en la mente toda la secuencia de tareas auxiliares y de vigilancia que componen un comportamiento complejo durante todo el tiempo que dura su ejecución.

Repercusión del hecho de que la intervención de la memoria de trabajo haga que no sea necesaria la participación de las estructuras cognitivas a la hora de garantizar la ejecución de un determinado comportamiento-procedimiento complejo (plagado de múltiples tareas auxiliares y de vigilancia)

El hecho de que gracias al funcionamiento de la memoria de trabajo no sea necesario la intervención de las estructuras cognitivas hace que la función ejecutiva pueda actuar automáticamente (de hecho, excepto cuando aprendemos algo por primera vez, todos nuestros comportamientos-procedimientos se ejecutan automáticamente), nos permite entender como es posible que primates adultos, sin estructuras cognitivas funcionando) ejecuten comportamientos complementarios complejos, plagados de tareas auxiliares y de vigilancia.

#### **La percepción. Características del sistema que confecciona imágenes sensoriales**

##### El miembro fantasma

Más del 80% de las personas que han sufrido importantes lesiones en alguno de sus miembros y producto de la gravedad de las mismas se les ha



**Fig. 8.** El fenómeno conocido con el nombre de miembro fantasma nos permite comprender que las imágenes que vemos, oímos, gustamos, tocamos y olemos son construidas en las diferentes cortezas sensoriales.

tenido que amputar, después de la intervención quirúrgica continúan sintiendo dolor en el brazo o la pierna que ya no existe. El destacado neurofisiólogo Vilayanur Ramachandran (1996) diseñó un ingenioso artefacto, una caja con espejos, en la que cuando se movía el miembro sano, la vista veía que se estaba moviendo el miembro amputado y con varias sesiones de este tratamiento desaparecía el dolor del brazo inexistente. El hecho de que alguien pueda sentir la existencia de un miembro amputado y hasta dolor en él, no podría suceder si la sensación propioceptiva que experimentamos al mover un brazo no fuese una imagen confeccionada en la corteza somática.

Trastornos como las alucinaciones que sufren los pacientes con esquizofrenia, muchos de ellos oyen voces que les indican que hagan determinadas cosas, no existirían sin neuronas en la corteza auditiva capaces de confeccionar imágenes sonoras. Ambos trastornos son una prueba de que el mundo que vemos, oímos, degustamos, olemos y tocamos es solo una construcción que sucede dentro de nuestro cerebro, una construcción que hacen las neuronas de la corteza sensorial.

#### Las cortezas sensoriales

Tenemos un área de la corteza visual en la que hay neuronas especializadas en construir las imágenes del color que percibimos, cuando dicha estructura no existe las personas ven todo en blanco y negro. Igualmente hay un área visual especializada en el volumen, otra en las formas, otra en los contrastes, otra en el movimiento y muchas más que confeccionan las imágenes que

creemos estar percibiendo a través de nuestros ojos (Carter 2002). Igualmente sucede con el resto de nuestras cortezas sensoriales, la corteza somática confecciona imágenes táctiles y propioceptivas, la corteza auditiva elabora imágenes sonoras y así sucesivamente. Por ello es difícil comprender porque la corteza visual de las personas ciegas que leen braille se activa cuando están leyendo, o por qué la corteza auditiva de las personas sordas se activa cuando ven los movimientos de las manos de otra persona que usa el lenguaje de signos (Blakemore Frith 2011). No es entendible porque esto significa que neuronas especializadas en construir imágenes visuales están elaborando imágenes somáticas y que neuronas especializadas en construir imágenes auditivas están generando imágenes visuales, lo que es un completo contrasentido.

*La formación y desarrollo ontogénico del sistema que confecciona imágenes sensoriales pudiera estar controlado por un mecanismo epigenético*

Características del desarrollo ontogénico de las áreas sensoriales

Los bebés humanos de menos de seis meses disfrutan de una especial predisposición que les permite distinguir las caras de primates de cualquier otra especie tan fácilmente como diferencian las caras humanas. Pero esta habilidad se pierde después de los seis meses. Igualmente, en este mismo período, los bebés humanos también son capaces de distinguir diferencias minúsculas entre los sonidos de su propia lengua y los de cualquier otro idioma. Después de los seis meses dejan de ser capaces de diferenciar los sonidos que no pertenecen a su lengua (Blakemore Frith 2011).

¿Que quiere decir esto? Esto quiere decir que al nacer todos los primates disponemos de neuronas visuales capaces de fabricar las caras de cualquier especie de primates y de neuronas auditivas capaces de confeccionar cualquier variedad de sonido (todos los sonidos que podrían formar parte de cualquier idioma). Pero después de los seis meses de edad solo permanecen funcionando únicamente aquellas neuronas que se dedican a confeccionar las imágenes de las caras humanas y las que confeccionan los sonidos de nuestra lengua materna. En opinión de Sarah-Jayne Blakemore y de Uta Frith, el proceso de apoptosis neuronal que hace esto sucede porque la desaparición de capacidades que no se van a emplear viabiliza y acelera los procesos de identificación. A lo que podemos agregar que, sin dudas, la eliminación de neuronas que no se emplearán reduce considerablemente el consumo energético del cerebro, lo que también significa una gran ventaja para su portador.

Es decir, al parecer las instrucciones que controlan el desarrollo ontogénico de las áreas

sensoriales, en un inicio, crean todas las neuronas constructoras de imágenes sensoriales que pudieran necesitar los sujetos de cualquier especie de mamífero. Y en un segundo momento son eliminadas aquellas neuronas encargadas de fabricar imágenes que la especie portadora del sistema de percepción no va a emplear. Por ejemplo, en nuestro caso son eliminadas las neuronas que fabrican la imagen de los detalles que nos permitirían identificar las diferencias de la cara de sujetos de otras especies de primates.

### El mecanismo epigenético

El hecho de que primero se forman estructuras de la corteza sensorial universales a todos los mamíferos, y que luego se eliminan todas las innecesarias para dejar funcionando solo aquellas imprescindibles para la especie portadora del sistema de percepción, nos revela algo muy importante. El programa genético que desarrolla la corteza sensorial de los mamíferos, en un inicio, no sabe que animal (su cerebro sensorial) está fabricando, sino que se vale de información exterior para hacer que las estructuras corticales sensoriales existentes sean las adecuadas según la especie. En otras palabras, las instrucciones que controlan el desarrollo ontogénico de nuestras áreas sensoriales disponen de un mecanismo epigenético que se encarga de lograr que las estructuras de la corteza sensorial que tenemos sean estrictamente aquellas que vamos a emplear.

### Funcionamiento del mecanismo epigenético

¿Cómo funcionaría el mecanismo epigenético que controla el desarrollo ontogénico de nuestras áreas sensoriales? Este mecanismo epigenético funcionaría con la máxima universal que controla el desarrollo del cerebro: todo lo que no se usa desaparece o, si es posible, se destina a otra función. En nuestro caso la constante y masiva llegada de impulsos eléctricos procedentes de la visualización de caras humanas y de la audición de los sonidos propios de nuestra lengua particular protege a las neuronas encargadas de confeccionar dichas imágenes de la extinción. Al mismo tiempo las neuronas que se encargan de confeccionar detalles pormenorizados de las caras de los sujetos de otras especies y las neuronas que elaboran las imágenes sonoras de otras lenguas desaparecen por falta de estimulación por parte de impulsos eléctricos procedentes del exterior. Así es como previsiblemente el mecanismo epigenético que controla el desarrollo ontogénico de las áreas sensoriales en mamíferos garantizaría que cada individuo disponga de la capacidad de confeccionar la variedad específica de imágenes sensoriales que su especie necesita.

### *Una corteza visual que elabora imágenes somáticas y una corteza auditiva que elabora imágenes visuales*

Al comienzo de este espacio hemos visto que el hecho de la corteza auditiva de las personas sordas reaccionara cuando sus portadores veían a otra persona empleando el lenguaje de señas (información visual) y el hecho de que la corteza visual de las personas ciegas se activara cuando estas leían braille (información somática) se contraponía radicalmente a la idea de que las diferentes cortezas sensoriales disponen de neuronas específicas capaces de confeccionar un tipo particular de imagen. Ahora estamos en condiciones de ofrecer una explicación a este desconcertante fenómeno.

¿Por qué pudiera suceder esto? Porque como hemos visto, el programa de desarrollo ontogénico de las áreas sensoriales no sabe el cerebro de que mamífero está construyendo. Y por ello es el mecanismo epigenético, basado en la llegada o no de impulsos eléctricos procedentes de la percepción, el que se encarga de mantener funcionando aquellas neuronas que usualmente se emplean y hacer desaparecer o transformarse a aquellas que regularmente no se activan. Así que es muy probable que el mecanismo epigenético de las personas sordas, al no llegar impulsos auditivos procedentes de los oídos, entienda que se está fabricando las áreas sensoriales de un sujeto (de una especie) que no precisa tanto de la información auditiva y como consecuencia programe la transformación de las neuronas que deberían confeccionar información auditiva en neuronas capaces de fabricar información visual, que en este caso es la que envía más impulsos eléctricos procedentes de los ojos. Otro tanto de lo mismo hará el mecanismo epigenético que controla el desarrollo ontogénico de la corteza visual de los ciegos. Presumiblemente la falta de impulsos eléctricos procedentes de los ojos haría que el mecanismo epigenético entendiera que se está construyendo las áreas sensoriales de un sujeto de una especie que no necesita las imágenes visuales, sino que precisa más de las somáticas (la información que en este caso predominantemente entra a través de impulsos eléctricos procedentes de la percepción). Y en correspondencia ordene la transformación de las neuronas que debían fabricar imágenes visuales para que sean capaces de confeccionar imágenes somáticas.

Por esta razón podemos concluir que el hecho de que la corteza visual de los ciegos pueda ser capaz de confeccionar imágenes somáticas y la circunstancia de que la corteza auditiva de los sordos pueda ser capaz de confeccionar imágenes visuales podría ser una evidencia importantísima de que el programa de desarrollo ontogénico de las áreas sensoriales de los mamíferos dispone de un importante mecanismo de control epigenético.

### **La mitad de nuestra capacidad cognitiva. El sistema que asocia imágenes multimodales (multisensoriales) procedentes de una misma cosa, objeto, sujeto o fenómeno**

*Un cerebro capaz de construir imágenes multimodales de una misma cosa objeto, sujeto o fenómeno similar para todos los primates*

Todos los simios tienen áreas corticales equivalentes a las nuestra que cumplen las mismas funciones, incluyendo las áreas del lenguaje y del uso de herramientas (Johnson-Frey 2003) En los bebés existe una capacidad incipiente para construir y mantener en su mente representaciones (imágenes) de los objetos que perciben, las cuales, a su vez, influyen en que cosas serán objeto preferente de la atención en el futuro. El desarrollo de estas representaciones tempranas de los objetos parece seguir un patrón similar en monos y humanos, lo cual sugiere una similitud en aspectos básicos del funcionamiento cognitivo de todos los primates, nosotros incluidos (Gómez 2007). Tanto los humanos como los monos desarrollan representaciones multimodales (por ejemplo, visuales y táctiles) de los objetos y sujetos que componen su entorno (Zimmermann y Torrey 1965; Sackett 1966). La elaboración de representaciones de los distintos objetos, fenómenos o individuos que integran su entorno (la posibilidad de construir y proyectar en la mente sus imágenes) no es una simple acumulación de información, sino que es la base cognitiva y motivacional a partir de la cual se desarrollará la futura exploración del entorno, es decir, la base mnésica a partir de la cual se construirán todos nuestros conocimientos acerca de como funciona el mundo en el que vivimos. (Sackett 1985a)

*La proyección de imágenes en la mente. ¿Por qué y para qué proyectamos imágenes en nuestra mente?*

Sigue sin haber nadie al mando

Cuando actúa cualquiera de nuestras estructuras cognitivas, cuando trabaja nuestra percepción, del mismo modo que sucede cuando se activa cualquiera de nuestros comportamientos, se enciende la sensación del Yo que nos hace sentir que somos nosotros los que recordamos, que somos nosotros los que calculamos, que somos nosotros los que tratamos de resolver un problema existencial, que somos nosotros los que pensamos. Pero si algo tenemos claro hoy en día es que nuestras estructuras pensantes, esa parte racional de la que tan orgulloso nos sentimos, no dirigen absolutamente nada. Jhon Dilan Haynes demostró que el cerebro toma sus propias decisiones y después informa a la corteza pensante de lo que ha sucedido (Hayne et al.

2008). En otras palabras, no hay nadie al mando, ni cuando actuamos ni cuando trabaja nuestra capacidad cognitiva (cuando pensamos). Así que, si no hay nadie que necesite enterarse de lo que está sucediendo para decidir que se hace, ¿por qué y para qué nuestro sistema cognitivo, cuando pensamos, proyecta imágenes en la mente? ¿Para que las vea quién?

La construcción cognitiva

La información que nos brinda la percepción no es nada en sí misma. Supongamos que estamos en la playa y de pronto vemos una masa gris alargada que se aproxima a toda velocidad hacia nosotros. Inmediatamente se construye en nuestra mente la imagen de un tiburón y seguidamente vemos lo que hacen los tiburones y las consecuencias que ello puede acarrear. Una gran parte de esta información subsiguiente a la captada por la percepción (la imagen gris alargada que se mueve hacia nosotros) la crean nuestras estructuras cognitivas (es un depredador y si no hacemos algo nos va a morder), también, a partir de imágenes proyectadas en la mente anteriormente por otra estructura cognitiva o por el sistema de percepción. En otras palabras, las estructuras cognitivas precisan de las imágenes de los conocimientos confeccionados previamente, para a partir de estas elaborar nuevos conocimientos. Esta es la primera razón por la que los endotérmicos proyectamos imágenes en la mente a pesar de que aparentemente no hay “nadie” para verlas.

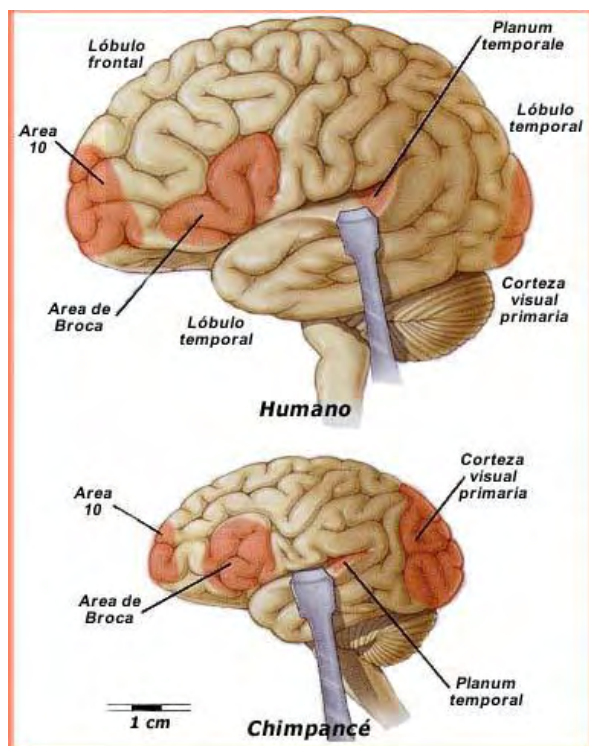
El consenso cognitivo

La percepción de un peligro físico (el tiburón) es lo más sencillo a lo que nos enfrentamos, algo más complicado es, por ejemplo, enfrentarnos a un peligro social. Porque cuando no sabemos la causa exacta de un acontecimiento que nos afecta es preciso que entren en acción todas nuestras estructuras cognitivas y cada una proyecte en la mente su trabajo para que pueda servir de materia prima a las otras para realizar el suyo. Cuando existe suficiente información acerca de algo, los mecanismos cognitivos que se encargan de obtener conocimientos empíricos hacen su trabajo, recaban más información mediante la percepción y lo proyectan en nuestra mente. Estos resultados son utilizados por los mecanismos cognitivos que elaboran hipótesis a partir de razonamientos inductivos y deductivos para que podamos entender la esencia verdadera del problema al que nos enfrentamos. Por el contrario, cuando hay poca información acerca de algo, es el mecanismo que elabora hipótesis quien realiza primero su trabajo y lo proyecta en la mente. A partir de este conocimiento (hipótesis) el sistema que fabrica información empírica comienza a buscar las pruebas materiales que

demuestren la veracidad o falsedad de la hipótesis existente. Así, con el trabajo conjunto de ambas capacidades, se llega a un consenso cognitivo que nos hace creer que una solución determinada es la más acertada para afrontar el problema en cuestión. Esta es la segunda razón por la que los endotérmicos proyectamos imágenes en la mente a pesar de que aparentemente no hay “nadie” para verlas.

### Construcción y asociación de imágenes

El desarrollo de la capacidad para representar las imágenes de los objetos, sujetos y fenómenos que forman parte de nuestro entorno (la construcción multisensorial de sus imágenes) parece seguir un patrón similar en monos y humanos (Gomez 2007). La primera gran aplicación que se desarrolla en el marco de la evolución hacia los sujetos con corteza cerebral pudo haber sido la capacidad de construir imágenes, según la especie, aparecen y se desarrollan más o menos diversos módulos que se encargan de confeccionar las diferentes partes de imágenes auditivas, somáticas, odoríficas, gustativas, visuales y propioceptivas y los módulos que las integran de manera que dispongamos de imágenes lo más parecidas que sea posible a la realidad objetiva.



**Fig. 9.** El hecho de que los chimpancés dispongan de un sistema de estructuras sensoriales similar al nuestro, y la circunstancia de que los procesos neuronales que ocurren en estas áreas son similares a los que suceden en las mismas áreas de nuestro cerebro cuando se confeccionan y proyectan en nuestra mente las imágenes que percibimos y recordamos, nos hace pensar que con toda probabilidad ellos también pudieran percibir y recordar imágenes multimodales.

Pero la construcción de imágenes no sirve para nada si no podemos asociar dichas categorías de imágenes (vista, olfato, sonido, tacto) entre sí debido a que puede suceder que la llegada de un depredador, pareja, presa o rival se anuncie mediante cualquiera de estas imágenes. Si solo disponemos de la imagen visual de un león y lo que nos llega es su olor, no nos enteraremos de que estamos seriamente amenazados. La posibilidad de asociar imágenes procedentes de los diferentes sentidos es una parte muy importante del mecanismo que le permite a un ser con corteza cerebral saber qué es lo que está viendo y cuál es la relación que guarda con él.

### Las áreas de asociación de imágenes. Los motores de búsqueda 1

Presumiblemente hay varias áreas de asociación primaria muy importantes para los primates, una en la corteza parietal, esta asocia las imágenes visuales con las imágenes somáticas y de movimiento. Gracias a ella podemos reconocer una misma cosa mediante el tacto o mediante la vista. Davenport y Roger (1970) demostraron que los chimpancés son capaces de reconocer una misma cosa que han visto mediante el tacto o una cosa que han tocado mediante la vista. Esta importante asociación es la que se encarga de la coordinación ojo mano y la que controla nuestros desplazamientos en el espacio. Además, dicha área de asociación visual-somática trabaja con el mecanismo subcortical de cognición encarnada, que ya hemos mencionado. Este permite relacionar lo que ven nuestros ojos con los movimientos de nuestro cuerpo que imitan lo que vemos. Dichos conocimientos se almacenan en las neuronas espejo que forman parte del área de asociación parietal. Gallese (2003) descubrió en el cerebro de macacos rhesus *Macaca mulatta* que la misma neurona espejo se enciende cuando el sujeto ve a otro rasgar una hoja de papel o cuando es el mismo quien la rasga o cuando oye el sonido que produce el rasgar una hoja de papel. Hay otra estructura de asociación en la corteza parietal que integra imágenes visuales con las imágenes somático-propioceptivas características de cada una de las emociones, sensaciones y sentimientos que experimentamos. Esta área de asociación también funciona con el mecanismo de Cognición Encarnada y las asociaciones que confeccionamos permiten reconocer en las facciones de otra persona las emociones, sensaciones y sentimientos que esta está experimentando.

Hay otra importante área de asociación primaria en la corteza temporal (de la que forma parte el área de Wernicke y la circunvolución angular) que asocia las imágenes odoríficas con las visuales y las auditivas. Esta es la que hace

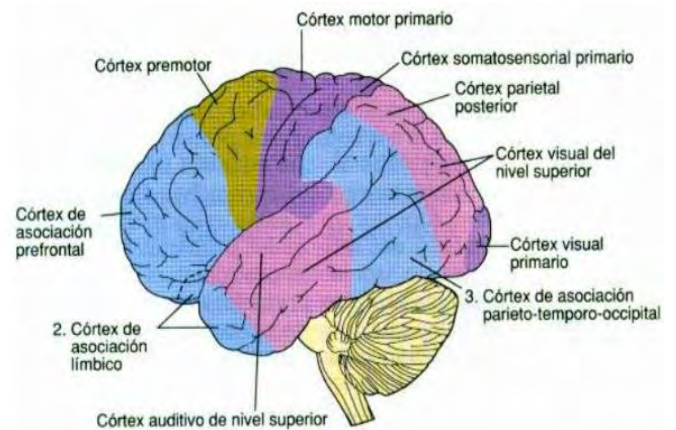


posible el reconocimiento de objetos a través de las palabras con que los nombramos.

Una tercera área de asociación primaria funciona en la corteza frontal (de la que forma parte el área de Broca), esta asocia las imágenes sonoras con las imágenes somatosensoriales. Gracias a dichas asociaciones, en el área de Broca, es que podemos ejecutar las secuencias de movimientos que nos permiten pronunciar las palabras.

También hay un área de asociación secundaria en la corteza ténporo-parieto-occipital que asocia las asociaciones primarias que acabamos de describir en un todo único. Los bebés humanos y primates no solo reconocen los objetos de su entorno con la vista, sino que al mismo tiempo lo hacen con las manos y con la boca (Zimmerman y Torrey 1965). Se ha sugerido que la noción de objeto (sujeto o fenómeno) surge de la unión del conjunto de percepciones multimodales de ese objeto, sujeto o fenómeno (Piaget 1936). Así es como se integran las percepciones acerca de una misma cosa, objeto, individuo o fenómeno, provenientes de los diferentes sentidos. Dichas asociaciones son las que nos permiten ver en nuestra mente el león, aunque solo hayamos percibido su olor o solo hayamos escuchado una de sus pisadas. Pero el que se encienda en nuestra mente la imagen de un león no causa ningún efecto. Para que dicha asociación de imágenes pueda ayudarnos a escapar del depredador, es necesario que sea capaz de encender en nuestra mente los conocimientos que tenemos acerca de las relaciones que existen entre los leones y nosotros. Los conocimientos que tenemos acerca de lo que existe en nuestro entorno, como veremos un poco más adelante, son confeccionados por nuestra capacidad cognitiva (el sistema que asocia imágenes procedentes de diferentes cosas, objetos, fenómenos y sujetos), siendo la base mnésica que permite elaborar dichos conocimientos las percepciones multimodales que ya hemos fabricado con anterioridad. La capacidad de crear una noción multimodal de objeto parece estar presente en el cerebro de todos los mamíferos (Lewkowicz y Lickliter 1994). Más adelante dedicaremos un extenso espacio de este trabajo al análisis de la capacidad cognitiva. Para que se produzca la asociación entre una imagen multisensorial y los conocimientos que hemos elaborado acerca de ese sujeto, objeto o fenómeno se precisa la quinta área de asociación quién se encarga de enlazar las imágenes multisensoriales que hemos mencionado con los conocimientos (información de referencia) que ha sido capaz de generar nuestra capacidad cognitiva acerca de la relación de los leones con nosotros. El resultado del trabajo de esta estructura son nuestros conceptos: avión, cama, descubrir, perro, noche, envolver, frío y por supuesto, león.

Pero tampoco es suficiente esta asociación secundaria para que podamos salir indemnes de las garras del león, para completar nuestro sistema de conocimientos es preciso que la asociación que acabamos de describir se asocie a las imágenes de las sensaciones, sentimientos y emociones que provienen en nuestro sistema límbico. Esto sucede en el área de asociación límbica de la corteza temporal. Y cuando todo lo que sabemos acerca del león está asociado con las sensaciones que genera el comportamiento Miedo-Huida radicado en la amígdala, es cuando se ha completado el sistema cognitivo (en tanto sistema de informaciones) que nos permitirá reconocer al león a través de cualquier variedad de imagen (sonora, visual, odorífica), saber la relación que tiene con nosotros (saber que es un depredador) y huir de él (sentir miedo y necesidad de escapar).



**Fig. 10.** El sistema que asocia imágenes multisensoriales de una misma cosa, objeto, fenómeno o sujeto es la primera de nuestras estructuras cognitivas. Los motores de búsqueda 1.

#### *La integración automática y voluntaria de imágenes sensoriales*

Las imágenes procedentes de una misma cosa, sujeto o fenómeno que elaboran los diferentes sentidos (tacto, sonoras, olfativas, visuales, propioceptivas, gustativas), predeciblemente, se asocian de dos maneras, de forma automática y de manera voluntaria. Cada una de estas áreas de asociación descrita cuenta con su respectivo almacén de asociaciones debido a que los conocimientos (en este caso asociaciones) fabricados con anterioridad siempre son la base de las nuevas asociaciones (Fantz 1956-1965) Como acabamos de mencionar, para que se produzca cualquier asociación de imágenes se hace preciso que las neuronas que se encargan de generar la imagen visual del león, por ejemplo, se asocien con las neuronas que se encargan de generar su imagen olfativa. Y esto solo sucede

con la activación conjunta de los grupos de neuronas que generan ambas variedades de imágenes, así que mientras más veces se enciendan en la mente de un mamífero la imagen odorífica del león, conjuntamente con la imagen visual del mismo, más fuerte se harán las sinapsis que en el futuro, cuando se detecte una de las dos variedades de percepción, inmediatamente activarán la otra.

#### Integración automática de imágenes sensoriales

La vía automática de integración de imágenes multimodales procedentes de los diferentes sentidos, acerca de una misma cosa, objeto, individuo o fenómeno, sucede cuando un determinado grupo de ellas se enciende al unísono en la mente muchas veces o cuando lo hacen en el marco de un estado emocional muy fuerte. En ambos casos la formación de vínculos entre las neuronas que generan las diferentes variedades de imágenes de una misma cosa, ser, objeto o fenómeno sucede como consecuencia de que el objeto, ser o fenómeno pueda ser percibido multisensorialmente por el sujeto. Así el que se produzca la asociación no voluntaria depende de las veces que el azar nos haga entrar en contacto multisensorial con dicho objeto, sujeto, problema o fenómeno y también es determinante la potencia del estado emocional que nos embargue durante estos encuentros.

#### La vía voluntaria de integración de imágenes sensoriales

El mecanismo de asociación involuntaria, como acabamos de describir, es lento y está sujeto al azar, ello es lo que predeciblemente crea la necesidad de que apareciese un sistema capaz de asociar de manera voluntaria las imágenes, procedentes de los diferentes sentidos, acerca de una misma cosa, objeto, sujeto o fenómeno. Era preciso la aparición de un mecanismo que nos permitiese de manera voluntaria, primero buscar y después, sacar de sus archivos y proyectar muchas veces en la mente las imágenes que se precisa asociar para que de esta manera la repetición pudiese consolidar las uniones sinápticas entre las neuronas que se encargan de generar dichas imágenes. En otras palabras, para que se pudiera asociar imágenes sensoriales multimodales rápida y eficientemente era necesario que apareciesen en la corteza cerebral los motores de búsqueda 1, los mecanismos capaces de hurgar en los archivos de información, cuando los accionamos, para encontrar y encender en la mente aquellas informaciones que necesitamos vincular.

#### *Las estructuras que se encargan de la asociación voluntaria de imágenes sensoriales. Los motores de búsqueda 1*

La capacidad de separar objetos en base a sus rasgos distintivos (mediante asociaciones de imágenes multisensoriales) se pone en marcha en humanos al mismo tiempo que aparece el lenguaje, circunstancia que hace pensar que el lenguaje (que las estructuras que lo hacen posible) es el responsable de esta manera de representar el mundo. Pero esta idea es errónea porque dicha capacidad para construir estas representaciones (para asociar imágenes procedentes de los diferentes sentidos) existe también en los primates (Hauser y Carey 1998). Así que el hecho de que la capacidad para nombrar los diferentes objetos, sujetos y fenómenos de nuestro entorno aparezca al mismo tiempo que somos capaces de reconocerlos, es una evidencia de que las estructuras que hacen posible nuestro lenguaje, las áreas de Broca y Wernicke, pudieran ser quienes se encargan de llevar a cabo de manera volitiva las asociaciones de imágenes multisensoriales que nos permitirán reconocer todo lo que existe en nuestro entorno. En otras palabras, las áreas de Wernicke y de Broca pudieran ser dos de nuestros motores de búsqueda 1. En este espacio tenemos la intención de ofrecer algunos argumentos en favor de esta idea.

#### Función de las áreas de Broca y de Wernicke

El área de Broca, como mencionamos, se encuentra en el área de la corteza frontal que se encarga de buscar, cuando intentamos pronunciar palabras, aquellas informaciones necesarias para asociar los diferentes sonidos que componen una palabra con las diferentes sensaciones somáticas que experimentamos cuando los músculos de la garganta tórax, lengua, faringe, labios y laringe se mueven para que podamos pronunciar dichos sonidos. Cuando un accidente vascular o cualquier otro tipo de trastorno, como los tumores, daña esta zona del cerebro se produce la afasia de Broca, las personas que la padecen experimentan una flagrante discapacidad para hablar correcta y fluidamente, su vocabulario se reduce a un minúsculo conjunto de palabras que pronuncian con muchísima dificultad a manera de telegramas, ello probablemente es consecuencia de que el motor de búsqueda, como resultado de la lesión, se ha vuelto incapaz de hacer su trabajo. Por ejemplo, un paciente que padece afasia de Broca ha pillado un tremendo resfriado. El médico que le visita le pregunta al respecto y el paciente, incapaz de pronunciar las palabras que quisiera decir para explicarle al doctor que tiene la gripe, se lleva resignado la mano a su apéndice

nasal y a duras penas logra pronunciar la palabra nariz (Temple 1993). Por su parte el área de Wernicke, en el instante en el que hablamos, se encargaría de buscar y encender en la mente, por un lado, el conjunto de imágenes sonoras que componen una palabra y por el otro, buscaría y proyectaría en la mente la imagen visual del sujeto, objeto, hecho o fenómeno que designa dicha palabra con el propósito de que ambas imágenes (las redes neuronales que las generan) se asocien. Creemos esto debido a que las personas que padecen afasia de Wernicke dejan de comprender lo que se les dice (no pueden asociar el conjunto de sonidos que es una palabra con la imagen visual del sujeto, objeto, hecho o fenómeno que dicha palabra designa) y que, aunque su inteligencia sigue estando intacta, tampoco son capaces de decir las palabras (los conjuntos de sonidos) que designan las cosas, sujetos y fenómenos que quieren mencionar en su discurso (Carter 2002; Goodglass 1983).

*La afasia global parece decirnos que las áreas de Broca y Wernicke, los motores de búsqueda 1, desempeñan un papel muy importante en la asociación voluntaria de imágenes procedentes de los diferentes sentidos*

#### La afasia global

¿Por qué creemos que las áreas de Broca y de Wernicke son estructuras que se encargan buscar, cuando queremos hablar, imágenes procedentes de diferentes sentidos de la percepción para encenderlas en la mente con el propósito de que se asocien? A veces un gran accidente vascular afecta gran parte del lóbulo izquierdo dañando, entre otras, las áreas del lenguaje y provocando la afasia global. Esta es una conjunción de los trastornos que provoca al mismo tiempo afasia de Broca, afasia de Wernicke y afasia de conducción. Los afásicos globales han perdido por completo la capacidad de comprender el lenguaje, de formular el habla y de repetir palabras y frases que se les dicen, en el mejor de los casos solo son capaces de decir alguna que otra palabra. Sin embargo, paradójicamente, son capaces de contar o recitar los días de la semana, decir la terminación de frases como: “*no por mucho madrugar amanece más temprano*” y también pueden cantar melodías previamente conocidas como las canciones aprendidas en su infancia (Navarro et al. 2005; Tirapu et al. 2008).

El almacén de asociaciones de imágenes sensoriales multimodales procedentes de una misma cosa objeto o fenómeno

¿Por qué una persona incapaz de asociar imágenes sonoras con imágenes somáticas, e incapaz de asociar imágenes visuales con imágenes sonoras cuando habla, sigue teniendo la

posibilidad de realizar estos tipos de asociaciones cuando canta una vieja canción infantil o cuando termina frases conocidas como los refranes o cuando recita los días de la semana? ¿Qué nos sugiere este inusitado y desconcertante hecho?

Para resolver este interesantísimo enigma, lo primero que tenemos que tener en cuenta es la circunstancia de que toda nuestra cognición es una estructura piramidal, esto quiere decir que los conocimientos previos (en este caso asociaciones de imágenes sensoriales) siempre son la base a partir de la cual se elaboran los nuevos conocimientos (Fantz 1965), por ende, de más complejidad que sus antecesores. Esta circunstancia hace que necesariamente todas las estructuras cognitivas, y las áreas de asociación sensorial no serían una excepción, dispongan de un almacén en el que se van guardando los conocimientos (las asociaciones de imágenes multimodales de una misma cosa, sujeto o fenómeno) anteriormente elaboradas.

Lo segundo que tenemos que tener en cuenta es el hecho de que, lo único que son capaces de hablar las personas que padecen afasia global son cosas que se aprenden durante la primera etapa de la vida, esto nos garantiza que las asociaciones de imágenes somáticas sonoras y visuales que nos permiten decir estos proverbios, refranes, frases célebres, cantar viejas canciones infantiles o los días de la semana son asociaciones de imágenes sensoriales que existen sólidamente consolidadas en nuestros almacenes de asociaciones sensoriales multimodales. Es decir, no son asociaciones que se confeccionan en el momento que hablamos, sino que son imágenes que se han asociado previamente.

El sistema de asas permite hablar

¿Cómo es posible que alguien que no puede hablar ni entender lo que él dice o lo que otros le dicen sea capaz de pronunciar estas frases manidas (proverbios y refranes), cantar los días de la semana o una vieja canción infantil? Esto es posible gracias al sistema de asas. Analicémoslo.

Como se trata de asociaciones muy consolidadas, las redes neuronales que forman parte del conjunto de asociaciones somáticas, auditivas y visuales que nos permite decir “*no por mucho madrugar*” están interconectadas a las redes neuronales que integran el conjunto de asociaciones somáticas, auditivas y visuales que nos permiten decir “*amanece más temprano*”.

Y al estar interconectadas entre sí ambas redes neuronales solo es necesario activar una de las dos para que se active la otra. Por ejemplo, cuando se le dice a alguien “*no por mucho madrugar*” esta frase es el estímulo señal que por coincidencia activa su alter ego (la información de referencia), la red neuronal que al dispararse enciende en la mente el conjunto de asociaciones somáticas, auditivas y visuales que nos permiten

decir esta frase. Y como esta red neuronal está conectada a la red neuronal que contiene el conjunto de asociaciones somáticas, auditivas y visuales que cuando se dispara genera la frase “*amanece más temprano*”, siempre que se activa la primera red, inmediatamente se activa la segunda, haciendo que se ejecute de manera automática el conjunto de movimientos que emplea el afásico global para decir, “*amanece más temprano*”. Ello es la razón por lo que cuando se trata de asociaciones de imágenes somáticas, auditivas y visuales firmemente consolidadas, como las que hemos mencionado, es posible activarlas mediante el sistema de asas. Como veremos en este espacio, ello predeciblemente es lo que sucede a los primates adultos que disponen de alguna variedad de lenguaje.

Cuando hablamos, nuestros motores de búsqueda 1 (áreas de Broca y Wernicke) encuentran y encienden en la mente los conjuntos de imágenes somáticas, auditivas y visuales que son nuestras palabras

Como mencionamos, el hecho de que los afásicos globales puedan hablar por sistema de asas nos demuestra que la información, las asociaciones de imágenes sensoriales multimodales (asociaciones somáticas auditivas y visuales) que le permiten decir la palabra *amanece* ya existen en su cerebro y solo se activa para decir *amanece* en el contexto del refrán “*no por mucho madrugar amanece más temprano*”. ¿Entonces, porque un afásico global no puede utilizar la asociación sensorial somática, auditiva y visual que le permite decir la palabra *amanece* en otro contexto que no sea el de esta frase? El que algo así suceda solo tiene sentido si admitimos que, cuando hablamos, por inusitado que nos parezca, no empleamos las asociaciones sensoriales multimodales que ya existen constituidas en el cerebro. Si esto fuese así las personas con afasia global, del mismo modo que pueden decir la palabra *amanece* en el contexto del refrán, también podrían decirlo en el marco de cualquier otro contexto, por ejemplo: *me despierto en cuanto amanece* o *cuando amanece me pongo a estudiar*, pero esto no sucede (Carter 2002), Ello probablemente es una prueba de que en el momento en el que hablamos las áreas de Broca y Wernicke, voluntariamente, podrían volver a buscar las imágenes somáticas, auditivas y visuales que componen las palabras y las encienden en nuestra mente de manera conjunta para que se puedan asociar entre ellas. Y al no disponer los afásicos globales, como consecuencia del accidente cerebro vascular que han sufrido, de las áreas de Broca y Wernicke (los motores de búsqueda voluntaria 1) solo pueden decir aquellas palabras que forman parte de asociaciones muy consolidadas como los refranes, los proverbios y las canciones infantiles.

Ya que las asociaciones somáticas, auditivas y visuales que nos permiten decir las se han consolidado de manera inusual debido al ingente número de veces que se repiten estas frases y canciones, por ello es que se activan fácilmente de manera involuntaria por el sistema de asas.

Un gran desperdicio de trabajo y energía

¿Por qué tal desperdicio de trabajo y de energía? Esto que acabamos de explicar no tiene ningún sentido a los ojos de la teoría de la selección natural. No es lógico pensar que disponiendo de asociaciones sensoriales multimodales que nos permitirían hablar (las utilizamos cuando repetimos refranes o cuando cantamos viejas canciones infantiles), no las utilizemos para expresarnos mediante la palabra, sino que cuando hablamos volvemos a confeccionar dichas asociaciones una y otra vez, así, los miles de veces que podemos utilizar una única palabra durante el día. Ahora imaginemos el gasto de tiempo, de trabajo y de energía que significa el volver una y otra vez a construir, miles de veces, las asociaciones que nos permiten decir todas las palabras que utilizamos a lo largo de un día. Sencillamente, esto es algo que no tiene sentido. O sí. ¿Por qué podría suceder esto?

Un buen apaño, aunque tiene un lado malo, genera beneficios que superan sus contraindicaciones

El que ocurra algo así solo es entendible si damos por acertada la idea de que utilizamos para hablar, no una estructura que surgió para dicho cometido, sino que nuestro lenguaje es consecuencia de un buen apaño, de esos que tanto gusta hacer a la vida cuando se desenvuelve por los cauces de la selección natural. Un apaño en el que se emplea para que hablemos lo humanos, para confeccionar voluntariamente las asociaciones somáticas, auditivas y visuales que nos permiten decir las palabras, una versión mejorada (las áreas de Broca y Wernicke) de las estructuras que nos permiten buscar a voluntad y encender en la mente imágenes sensoriales multimodales con el propósito de que se asocien entre ellas.

Predeciblemente las áreas de Broca y Wernicke son motores de búsqueda de imágenes sensoriales procedentes de una misma cosa, sujeto, objeto o fenómeno (motores de búsqueda 1)

¿Por qué la afasia global no sugiere que las áreas de Broca y Wernicke son motores de búsqueda encargados de encontrar y encender en la mente, con vistas a su asociación, imágenes sensoriales multimodales procedentes de la misma cosa, sujeto, objeto o fenómeno? Porque cuando faltan estas estructuras, cosa que sucede a los afásicos globales, solo se pueden encender en

la mente involuntariamente, mediante el sistema de asas, un conjunto muy reducido de imágenes sensoriales multimodales que existen asociadas en el marco de refranes, canciones infantiles y proverbios. Es decir, la afasia global nos pone de manifiesto que para que podamos utilizar nuestro lenguaje se hace imprescindible disponer de motores de búsqueda capaces de encontrar y encender en la mente aquellas imágenes somáticas, auditivas y visuales que utilizamos en el marco de cualquier frase que se construye en el mismo momento en el que se expresa. La afasia global parece demostrar que, si estos motores de búsqueda no existen, no hay forma de encontrar y encender en la mente las imágenes somáticas, auditivas y visuales que configuran nuestras palabras y frases.



**Fig. 11.** El hecho de que una persona que padece todos estos trastornos del habla sea capaz de cantar los días de la semana, una vieja canción infantil o completar frases que aprendió en su infancia, podría estar diciéndonos que utilizamos para hablar el sistema que permite que los mamíferos asociemos voluntariamente imágenes sensoriales multimodales de una misma cosa, sujeto o fenómeno (los motores de búsqueda 1).

Surgimiento de unas estructuras (áreas de Wernicke y de Broca) capaces de articular el lenguaje humano

Aquí inevitablemente nos aborda una pregunta: si hablamos con parte de las estructuras que nos permiten buscar y encender voluntariamente en la mente imágenes sensoriales multimodales con vistas a su asociación, y supuestamente el resto de las aves y mamíferos también disponen de ellas (disponen de estos mismos motores de búsqueda 1), ¿por qué el resto de los primates nos exhiben un lenguaje como el nuestro? La respuesta está probablemente en el hecho de que el lenguaje de señas, que debería estar en la corteza parietal, debido a que es una asociación entre imágenes visuales e imágenes somáticas, está, paradójicamente, en el área de Wernicke, porque

como se observa en el efecto Mc Gurk, escuchamos también con la vista. Expliquémoslo. El hecho de que las personas sordas no utilicen la corteza parietal (donde se asocian las imágenes somáticas con las visuales) para implementar allí el lenguaje de señas nos está diciendo que nuestro complejo lenguaje no surge automáticamente de la capacidad para buscar y asociar imágenes sensoriales multimodales, sino que necesariamente las estructuras de asociación volitiva, los motores de búsqueda 1, tuvieron que modificarse en algún momento, total o parcialmente, para que apareciesen a partir de ellos las estructuras (áreas de Broca y Wernicke) capaces de permitirnos hablar a los humanos. Ello nos explicaría el por qué, a pesar de que el resto de aves y mamíferos, previsiblemente, disponen de la capacidad para asociar imágenes sensoriales multimodales de forma voluntaria, el complejo lenguaje que utilizamos lo humano solo haya aparecido en nosotros. De aquí nos surge una pregunta, ¿Por qué las estructuras que permiten asociar voluntariamente imágenes sensoriales multimodales procedentes de una misma cosa objeto y fenómenos, los motores de búsqueda 1, solo evolucionaron en nuestra especie hasta convertirse en estructuras capaces de realizar la función que ejecutan las áreas de Broca y Wernicke? ¿Por qué esto no sucedería en el resto de las especies de primates?

*Las estructuras que permiten realizar voluntariamente asociaciones sensoriales multimodales, los motores de búsqueda 1, previsiblemente solo funcionan durante toda la vida en nuestra especie*

Alex y Kanzi pudieran ser una prueba de que es muy probable que el lenguaje de los afásicos globales es el lenguaje del resto de los sujetos de otras especies con corteza cerebral que lo muestran. Hay otras especies de primates que tienen lenguaje como los monos tota, los diana y los chimpancés, como han constatado Catherine Hobater y Richard Byrne (2014). Sin embargo su lenguaje, en vez de caracterizarse por la infinita cantidad de asociaciones de imágenes somáticas, auditivas y visuales (las que nos permiten decir todas las palabras que utilizamos) solo es capaz de realizar unas pocas asociaciones sensoriales multimodales. Su lenguaje es más parecido al de los afásicos globales que al nuestro ya que solo son capaces de “decir” (a través de sonidos o de gestos) unas pocas “palabras” en el marco de un número muy reducido de “frases” hechas. Los pocos ejemplos que se salen en alguna medida de esta tónica, por ejemplo, el loro Alex de Irene Pepperberg y el bonobo Kanzi de Sue Savage Rumbaugh, fueron objeto desde la más temprana infancia, por parte de las científicas a su cargo, de un riguroso, constante y pormenorizado entrenamiento, en el marco de cual se pudieron construir

en sus cerebros, repitiendo incesantemente una y otra vez los mismos procedimientos, asociaciones sensoriales multimodales (somáticas, auditivas y visuales) tan fuertes como las que generan en nosotros los proverbios, refranes y canciones infantiles. Esto quizás es lo que permitiría que por sistema de asas (involuntariamente) dichas asociaciones se pudieran encender en sus mentes y al suceder esto, pronunciaran verbalmente o a través de la utilización de lexigramas pequeñas frases y palabras por las que se hicieron famosos.

El hecho de que, a pesar de los ingentes esfuerzos de sus cuidadoras, el lenguaje del loro Alex y del bonobo Kanzi no pasara de allí, probablemente es una evidencia de que los motores de búsqueda voluntaria de imágenes sensoriales multimodales (sus mecanismos para asociar voluntariamente imágenes procedentes de la misma cosa, sujeto, objeto y fenómeno) en estas especies no trabajan de la misma manera que lo hace en la nuestra.



**Fig. 12.** El hecho de que, tanto el lenguaje de Canzi como el de Alex no pasaran de ser un número limitado de simples asociaciones, como las que se evidencian en el lenguaje de las personas con afasia global, pudiera ser una prueba de que cuando hablamos los motores de búsqueda 1 (áreas de Wernicke y Broca) confeccionan en ese mismo instante las asociaciones que nos permiten hablar.

El sistema que nos permite asociar voluntariamente imágenes procedentes de la misma cosa, sujeto, objeto y fenómeno, los motores de búsqueda 1, dejaría de funcionar en aves y en el resto de los mamíferos

Como se ha explicado a lo largo de este artículo, el surgimiento de un conjunto de estructuras, los motores de búsqueda 1, que nos permiten asociar de manera voluntaria imágenes procedentes de las mismas cosas, sujetos, objetos y fenómenos fue imprescindible para que pudieran aparecer seres que adquieren esta variedad de información mediante la experiencia. Así que el surgimiento de la corteza cerebral estaría indisolublemente ligado a la aparición de estos mecanismos voluntarios de búsqueda de imágenes procedentes de una misma cosa, sujeto, objeto o fenómeno. El hecho de que estas estructuras necesariamente existan en aves y mamíferos a partir de su nacimiento, pero que luego, el resto de mamíferos y aves no hayan podido reutilizar su capacidad de búsqueda para instrumentar un lenguaje parecido al nuestro, probablemente es una poderosa evidencia que nos dice que los sistemas de asociación voluntaria de imágenes procedentes de una misma cosa, sujeto, objeto y fenómeno, los motores de búsqueda 1, dejan de funcionar en algún momento del desarrollo ontogénico de los sujetos de estos dos grandes linajes. Así que es muy probable que en aves y mamíferos existan instrucciones encargadas de regular el desarrollo ontogénico de estos motores de búsqueda voluntaria 1 de manera de hacerlos desaparecer cuando se vuelven innecesarios puesto que ya han desarrollado su trabajo, que no es otro que el de integrar las diferentes variedades de imágenes sensoriales procedentes de una misma cosa, sujeto, objeto o fenómeno.

Claro está que nuestro lenguaje no es obra en exclusivo de las estructuras (motores de búsqueda 1) que nos permiten relacionar imágenes sensoriales multimodales procedentes de una misma cosa, sujeto, objeto y fenómeno. Estas solo se encargan de confeccionar el envoltorio en el que expresamos lo verdaderamente importante que es el contenido de lo que decimos. Ahora nos toca comenzar a analizar el funcionamiento de las estructuras, motores de búsqueda 2, que nos permiten asociar imágenes procedentes de diferentes cosas, objetos, sujetos y fenómenos, nos referimos a las estructuras que confeccionan nuestros conocimientos.

*Reconocimiento de imágenes. La posibilidad de saber que relación guarda algo o alguien con nosotros*

La organización de lo que conocemos en el cerebro

La idea antropocéntrica de que Dios creó los animales para que nos sirvieran se deriva de la esencia de como se organiza la información en nuestro cerebro, para que podamos reconocer fácilmente todo lo que nos rodea. Por ejemplo, lo que nos permite reconocer una nutria o un abrelatas, la desesperación, un imán o una turbulencia es la relación que tienen con nosotros, es decir, con uno de nuestros comportamientos base. La nutria puede estar relacionada con nuestro comportamiento Nutrición y su piel con el comportamiento Regulación térmica, mientras que el abrelatas está relacionado con el comportamiento Nutrición y la turbulencia con nuestro comportamiento Miedo-Huida. El cerebro del resto de aves y mamíferos predeciblemente también está organizado de la misma manera, también con el propósito de que puedan reconocer rápidamente cualquier fenómeno, ser o cosa con la que se topan.

¿Quién confecciona los conocimientos que nos hacen saber la relación que guardan las cosas, objetos, fenómenos y seres del universo con nosotros? La capacidad cognitiva. Como mencionamos, una rana es incapaz de saber que una mosca muerta que tiene delante de los ojos es comida, mientras que un cerdo que está a cincuenta metros oye el sonido que hace una bellota al chocar con el suelo y sabe exactamente que ya tiene comida y donde exactamente esta se encuentra. Lo que hace la diferencia entre la rana y el cerdo es la capacidad cognitiva y a ella dedicaremos los siguientes espacios.

**La segunda parte del mecanismo cognitivo. El sistema que elabora conocimientos a partir de asociaciones de imágenes temporalmente continuas de diferentes cosas, objetos, sujetos y fenómenos. Los motores de búsqueda 2**

*Corteza Prefrontal dorsolateral, el lugar en el que se encuentran nuestros motores de búsqueda 2*

En la corteza prefrontal dorsolateral se encuentran las regiones de asociación supramodal (de asociación cognitiva) puesto que no procesan estímulos sensoriales directos, sino que procesa información cognitiva. Esta estructura se encarga de que podamos planificar, formarnos ideas, solucionar problemas, memorizar cosas. Esto lo sabemos porque las lesiones en la corteza dorsolateral provoca dificultades en el razonamiento abstracto, en la resolución de problemas, en la planificación, en la formación de conceptos,

en el ordenamiento temporal de los estímulos, en el aprendizaje asociativo, en la atención, en el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo; también provoca dificultad en los procesos de búsquedas en las memorias, dificultad en la cognición, en la cognición social, alteración en algunas modalidades de habilidades motoras, dificultades en la generación de imágenes y dificultad en la manipulación de las propiedades espaciales de los estímulos (Grafman 1994; Grafman et al. 1995; Allegri y Harris 2001).

De manera que podemos afirmar que los motores de búsqueda 2 (las estructuras cognitivas) hacen su tarea de confeccionar nuestros conocimientos desde y en la corteza prefrontal Dorsolateral. A partir de ahora intentaremos explicar como es el proceso mediante el cual se confeccionan nuestros conocimientos.

El problema de la permanencia de los objetos y el problema de los desplazamientos invisibles

Los insectos, por ejemplo, no necesitan aprender acerca de permanencia de los objetos (Étienne 1976) pero por el contrario, los primeros grandes retos cognitivos que tenemos que afrontar los sujetos con corteza cerebral es el de solucionar el problema relacionado con la permanencia de los objetos, muy ligado al de los desplazamientos invisibles. Imaginemos que un ñu negro (*Connochaetes gnou*) ha visto a un cocodrilo muy cerca de donde está bebiendo agua, pero de pronto el reptil se hunde y desaparece de su vista. El ñu necesita saber que el cocodrilo no ha desaparecido, sino que sigue estando allí, aunque ahora no lo ve. Pensemos ahora en una gacela de Thomson (*Gazella thomsoni*) que ve un guepardo (*Anciononyx jubatus*) corriendo en una determinada dirección, pero durante su carrera el felino pasa por detrás de unas hiervas altas y la gacela deja de verlo. Necesariamente la gacela tiene que ser capaz de saber, teniendo en cuenta la dirección y la velocidad a la que corre el guepardo, donde aparecerá, porque de otra manera pudiera correr para terminar cayendo presa de sus colmillos. Diversos estudios (Tomasello y Call 1997; Parker y Mckinney 1997) han demostrado que humanos, simios antropomorfos y primates pasan por los mismos estadios cognitivos en cuanto a la solución de estas cuestiones relacionadas con la permanencia de los objetos y con sus desplazamientos invisibles. De manera que en nuestro caso no se trata de información que traemos al nacer (como en los insectos), sino que nuestra capacidad cognitiva es quien soluciona estos problemas. ¿Cómo lo hace? A través de la asociación de dos o más imágenes temporalmente continuas o de dos o más secuencias de imágenes temporalmente continuas.

### *La asociación de imágenes temporalmente continuas para la construcción de conocimientos*

Las imágenes que asocia el sistema que confecciona conocimientos

Esta parte del sistema cognitivo cuya función, valga la redundancia, es la de elaborar conocimientos (información de referencia e información de procedimiento), al igual que el sistema que asocia imágenes procedentes de los diferentes sentidos de una misma cosa, objeto, sujeto o fenómeno, también asociaría imágenes, pero a diferencia del anterior el sistema que confecciona conocimientos, presumiblemente asocia imágenes temporalmente continuas procedentes de diferentes cosas, objetos, sujetos y fenómenos. La asociación de imágenes temporalmente continuas procedentes de diferentes cosas, objetos, sujetos y fenómenos sucede de manera automática o de manera voluntaria, esta última ocurre cuando pensamos. En la vía automática se trata de imágenes directamente provenientes de los diferentes sentidos de la percepción y también se asocian imágenes temporalmente continuas procedentes de las memorias extraídas a través del sistema de asas por las imágenes que se perciben. En la vía voluntaria se asociarían imágenes temporalmente continuas procedentes de los diferentes archivos de la memoria que son sacadas y proyectadas en la mente por el sistema que elabora conocimientos cuando pensamos.

El sistema que elabora conocimientos no solo asocia una única imagen con otra única imagen, sino que también asocia una secuencia de imágenes (“proyección filmica”) que nos permiten ver como sucede algo con otra secuencia de imágenes (“proyección filmica”) que nos permite ver como sucede otra cosa. Por ejemplo, si hay nubes no se ven las estrellas, si me meto en el agua fría, temblaré de frío, si no encuentro comida estaré débil, si muerdo con fuerza la garganta de la cebra esta dejará de tratar de escapar.

### *El sistema que elabora conocimientos asocia imágenes temporalmente continuas. La causalidad*

En el mundo físico en el que existimos todo tiene continuidad espacial estática, por ejemplo, después del brazo está la mano, después de la pared está el techo, después de la tierra está el mar. Y continuidad espacial dinámica, por ejemplo, la tabla de surf en la que floto impide que mi cuerpo se sumerja en el agua, el pequeño agujero de entrada a mi nido impide que se cuele un gran depredador.

También todo existe con continuidad temporal estática, por ejemplo, después de la lluvia viene el buen tiempo, después del frío viene el calor. Y con continuidad temporal dinámica, por ejemplo,

después de que tiramos de una fruta se suelta de la rama, si nos caemos al río nos lleva la corriente, si no miramos con atención donde nos agarramos nos caemos del árbol, si me atrapa un depredador lo voy a pasar muy mal, si direcciono la oreja oigo mejor, etc. El sistema que elabora conocimientos lo que hace es asociar imágenes de diferentes objetos, cosas, sujetos y fenómenos que reflejan una continuidad espacial estática y o dinámica y o una continuidad temporal estática y o dinámica.

### *La causalidad*

Debido a que las leyes físicas que rigen nuestro universo determinan que toda acción va acompañada de una reacción, una gran parte de las parejas de imágenes que se asocian por continuidad temporal guardan entre ellas una relación causa efecto, dinámica o estática. Por ejemplo, el recipiente contiene el líquido, el movimiento del brazo empuja el tronco, la carrera detrás de la presa cansa al depredador, cerrar con fuerza la mano alrededor de la rama evita que nos caigamos del árbol, si llueve habrá comida, si muerdo la boca y la nariz del búfalo después de un tiempo dejará de moverse, si busco donde me ha dado el olor que hay comida, comeré, etc. De aquí en adelante llamaremos implicaciones causales a aquellas asociaciones de imágenes con proximidad temporal en las que exista una relación causa-efecto entre las imágenes o secuencias de imágenes asociadas.

### *El proceso de asociación de imágenes temporalmente continuas procedentes de diferentes asuntos, sujetos, fenómenos y objetos. El conocimiento*

El sistema que elabora conocimientos crea en el lugar de la corteza prefrontal en donde existe (el lugar que se enciende en el escáner cuando pensamos), una interconexión entre la red neural que fabrica una determinada imagen o secuencia de imágenes con la red neural que fabrica la otra imagen o secuencia de imágenes.

¿Cómo esta asociación de imágenes se convierte en un conocimiento? La percepción o el recuerdo de cualquier cosa, objeto, sujeto o fenómeno, lo que hace es activar la red neural que construye su imagen. Esta activación de la red neural es lo que proyecta en nuestra mente la imagen que ella confecciona (Carter 2002). Al estar interconectadas dos redes neurales que al activarse generan imágenes, siempre que se active cualquiera de las dos, de inmediato se activará la otra. Esto quiere decir, que siempre que la percepción o la rememoración (la actividad volitiva de pensar) active una de las dos imágenes asociadas (se enciende en la mente la imagen que fabrica esta red), de inmediato se activará la otra red y al activarse esta segunda también se



enciende en la mente la imagen que confecciona, permitiéndonos esto ver de manera secuenciada las dos imágenes. El poder observar en nuestra mente ambas imágenes o una de ellas, es lo que llamamos conocimiento. Veamos un ejemplo práctico para que lo entendamos mejor.

Por ejemplo, vemos la luz de un rayo en el cielo y después escuchamos la imagen sonora del trueno. Una de estas dos percepciones activa una determinada red neuronal en la corteza visual que enciende en nuestra mente la imagen visual del rayo (la proyección fílmica) y la otra activa otra determinada red neural en la corteza auditiva que enciende en nuestra mente la proyección de imágenes sonoras que es el trueno. Como esta secuencia (rayo-trueno) es algo que se repite bastante a menudo y como su percepción genera un fuerte estado emocional, ambas redes, la que fabrica la secuencia de imágenes visuales del rayo y la que fabrica la secuencia de imágenes sonoras del trueno, se interconectan en la zona de la corteza prefrontal izquierda en la que se fabrican las asociaciones de imágenes procedentes de diferentes cosas, sujetos y fenómenos (los conocimientos). Una vez que la asociación entre ambas redes neurales se ha consolidado, siempre que percibimos visualmente un rayo se activa la red neural de la corteza visual que construye la secuencia de imágenes que nos permite ver el rayo, pero como ahora esta red neuronal forma parte de una asociación (conocimiento) que la interconecta con la red neural de la corteza auditiva que construye la secuencias de imágenes sonoras del trueno, siempre que se activa la primera red neural, inmediatamente se activa la segunda y al activarse esta se enciende en nuestra mente la imagen sonora del trueno. En la práctica lo que sucede como resultado de la existencia de esta asociación temporal de imágenes (conocimiento), es que siempre que vemos un rayo automáticamente y de inmediato se enciende en nuestra mente la imagen sonora del trueno antes de que lo oigamos. Esta asociación de imágenes es el conocimiento que nos hace saber que siempre que se produce un rayo después habrá un trueno.

Esta asociación de imágenes no sirve mucho más que para taparnos los oídos cuando vemos el rayo porque no podemos hacer nada para evitar el estruendo que viene a continuación, pero, veamos la importancia que tienen estas asociaciones temporales de imágenes o de secuencias de imágenes a la hora de solucionar los importantes problemas relacionados con la permanencia de los objetos y con sus desplazamientos invisibles (Dickinson y Balleine 2000) sostienen que incluso, en los casos más sencillos de aprendizaje asociativo de las ratas, las asociaciones causales primitivas pueden desempeñar un papel muy importante para la elaboración de conocimientos.

Las asociaciones de imágenes con continuidad temporal procedentes de distintas cosas, sujetos y fenómenos (conocimientos) podrían resolver el problema de la permanencia de los objetos

Una joven cebra (*Equus burchelli*) que hace la migración por primera vez ve como desaparece debajo del agua un cocodrilo y un instante después ve salir un cocodrilo con las fauces abiertas del mismo lugar en el que antes le ha visto hundirse (secuencia de imágenes 1) y atrapar a un congénere que estaba muy cerca (secuencia de imágenes 2). Esa escena (el hundimiento y posterior salida de los cocodrilos) se produce una y otra vez en el marco de poderosísimos estados emocionales. Tanto la repetición de la misma vivencia como la influencia de las emociones que experimenta el equino hacen que de manera automática con extrema celeridad se asocien las redes neurales que construyen la secuencia de imágenes 1 (el cocodrilo desapareciendo debajo del agua en un lugar determinado) con las redes neuronales que construyen la secuencia de imágenes 2 (el cocodrilo atrapando a una compañera). La existencia de esta asociación de imágenes (conocimiento) en la corteza prefrontal de la cebrilla hará que cada vez que ella vea a un cocodrilo sumergirse, se active el conocimiento y como resultado ella pueda ver en su mente al cocodrilo saliendo del agua con la boca abierta antes de que esto suceda. Este conocimiento es



**Fig. 13.** La formación del conocimiento acerca de la permanencia de los objetos, predeciblemente es el resultado de la formación de una concatenación de dos secuencias de imágenes con proximidad temporal.

solo uno de los muchos que sirven para resolver el importante problema de la permanencia de los objetos porque hace que la cebra “sepa” que el cocodrilo, aunque no lo ve, sigue estando ahí. Pero para que la “idea” (en imágenes) de la permanencia de los objetos se convierta en un conocimiento aplicable a todo se precisa que suceda un proceso de generalización. Más adelante hablaremos de como se produce la generalización cuando exponamos el funcionamiento de la Matriz Lógico Comparativa. Volveremos a tocar la cuestión de la permanencia material de los objetos cuando tratemos la capacidad para reconocernos en un espejo.

Las asociaciones de imágenes temporalmente continuas (conocimientos) solucionan el problema de los desplazamientos invisibles

En el caso de la gacela de Thompson que ve al guepardo que la persigue a toda carrera desaparecer detrás de unas yerbas altas, sucede otro tanto de lo mismo. A lo largo de su vida el cérvido ha presenciado, en el marco de fuertes estados emocionales, un sin número de escenas similares en las que un guepardo que persigue a una compañera desaparece un instante de su vista (imágenes 1) para luego reaparecer en un lugar específico con arreglo a la dirección y a la velocidad que corre (imágenes 2). De manera que en su cerebro hay suficientes parejas de secuencias de imágenes entrelazadas (conocimientos) que al encenderse en su mente le indicarán donde aparecerá el depredador. El proceso de generalización del conocimiento acerca de los desplazamientos invisibles lo veremos más tarde cuando exponamos el funcionamiento de la Matriz Lógico Comparativa.

Las asociaciones de imágenes temporalmente continuas nos permiten conocer a través de la experiencia de los otros

Veamos un ejemplo de que las implicaciones causales (la asociación de imágenes con continuidad temporal procedentes de diferentes sujetos, objetos y fenómenos) nos permiten “conocer” a partir de la experiencia de los otros. Una cebra ve una vecina que echa de pronto a correr como si no hubiera un mañana y acto seguido ella misma echa a correr presa del pánico sin que sea visible una causa aparente. ¿Por qué sucede esto? Como resultado de haber vivido esta misma escena innumerables veces en el marco de fuertes estados emocionales, en la zona de su corteza prefrontal donde las cebras almacenan sus conocimientos existe una asociación causal entre la red neuronal que fabrica la secuencia de imágenes de una compañera corriendo presa del pánico (imágenes 2 consecuencia) y la red neural que genera en su mente la secuencia de imágenes de un grupo de leonas dando caza a su rebaño

(imágenes 1 causa). Por esta razón la percepción de una compañera que corre como si no hubiera un mañana (imagen consecuencia) enciende en la mente de la cebra la secuencia de imágenes de un grupo de leonas dándole caza, esto activa su comportamiento Miedo-Huida y, a correr.

Las asociaciones de imágenes temporalmente continuas nos permiten conocer las intenciones de los otros

Un conocimiento-comportamiento que nos muestra las intenciones de los otros

Emil Menzel trabajó en Luisiana con un grupo de nueve chimpancés jóvenes. Cuando estaban en sus estancias nocturnas escondía comida apetitosa en el recinto al aire libre donde pasaban el día. Solo uno de ellos podía ver donde estaba escondido el tesoro. Pronto aprendieron a seguir a quien daba muestras de saber donde estaban escondidos los alimentos. Cada vez que le tocaba a Belle, una hembra de bajo rango, ser la guía, un macho alfa, Rock, en cuanto se desvelaba el escondite, la pateaba, mordía y se quedaba con todo. Belle aprendió a dar pistas falsas al avaricioso macho, comenzó a caminar en dirección contraria a donde estaba la comida y solo cuando Rock estaba distraído se acercaba a los alimentos (Menzel 1973b, 1974). En este caso en el cerebro de Rock se formó la implicación causal: Belle caminando y mirando hacia un punto fijo (imagen causa) allí está la comida (imagen consecuencia). Y en el cerebro de Belle se estructuró la siguiente implicación causal: si Rock me ve caminando y mirando hacia donde sé que está la comida (imagen causa) me quedo sin siquiera probarla (imagen consecuencia). En otras palabras, se había estructurado en sus cortezas cerebrales un conocimiento que al encenderse (las imágenes que lo integraban) en sus mentes les hacían saber las intenciones del otro. Esta nueva información de referencia anexándose al comportamiento base Nutrición de ambos primates se convierte en el comportamiento complementario que hace que Rock persiga a Belle en cuanto descubre que ella sabe donde está la comida. Y en el comportamiento de control de Belle que hace que ella sienta necesidad de controlar sus acciones (hacia donde mira, hacia donde camina) para no revelar con ellas a Rock en donde está la comida.

Las ventajas de la posibilidad de fabricar conocimientos a partir de la asociación de imágenes temporalmente continuas procedentes de distintos objetos, sujetos y fenómenos

La gran prestación que otorgaría el sistema que elabora asociaciones de imágenes temporalmente continuas procedentes de diferentes objetos, sujetos y fenómenos (conocimientos en forma de

implicaciones causales o no causales) es que permite que el sujeto no tenga que percibir directamente el estímulo señal para que el comportamiento destinado a hacerle frente se active, es decir, nos permite echar a correr sin necesidad de tener que ver al depredador, circunstancia que otorga una incuestionable ventaja a la hora de escapar. En otras palabras, el sistema que asocia imágenes de diferentes cosas, objetos, sujetos, fenómenos y sucesos nos permite saber algo sin que sea necesario que lo veamos en el momento en el que sucede y también nos permite saber que algo va a suceder. Por ejemplo, predecir que va a ocurrir un trueno después que vemos el rayo o predecir que va a salir del agua un cocodrilo o predecir que detrás de las hierbas altas aparecerá un guepardo o predecir que después de la tormenta habrá calma. El único inconveniente de este maravilloso mecanismo para elaborar (conocimientos) es que los leones también disfrutan de él. Ello les da la posibilidad de ver en sus mentes que si un miembro de la partida de caza corre detrás de las cebras en una determinada dirección (imagen causa), los equinos correrán en determinadas direcciones, dependiendo de la orografía y de la flora del terreno (imagen consecuencia). El poder disponer de este maravilloso conocimiento que se obtiene con la experiencia (la visión de la misma escena muchas veces en el marco de un fuerte estado emocional) permite a las otras leonas visualizar en la mente las direcciones en las que van a correr las presas según las características de la zona y esto a su vez es lo que hace posible que las leonas y los chimpancés trabajen en equipo a la hora de cazar. Un sujeto ahuyenta a las presas en una dirección determinada y los otros se emboscan en los lugares donde “saben” que estas podrían pasar.



**Fig. 14.** El disponer de un sistema que elabora una concatenación de dos secuencias de imágenes con continuidad temporal permite a las leonas predecir por donde van a escapar las cebras y, en consecuencia, emboscarse para capturarlas con facilidad cuando pasen por donde “saben” que irán. Esto es lo que permite a algunos sujetos especializarse en el flanco izquierdo, a otros en la delantera, a otros en el flanco derecho y a un cuarto grupo en la tarea de perseguir.

### **Los nuevos conocimientos, la nueva información de referencia o de procedimiento, también se convierten en nuevos comportamientos complementarios**

En el Volumen 10(2) 2015 de esta misma publicación aparece un artículo de este autor dedicado a explicar que, aunque nuestra moral tiene una base innata, está compuesta por comportamientos desarrollados a través del aprendizaje gracias al desarrollo de la capacidad cognitiva, tal y como pensó Darwin. Si usted no ha leído el artículo mencionado, sin dudas se preguntará, ¿cómo puede un comportamiento tener una base innata sin ser producto de la decodificación de nuestros genes? Propusimos que los comportamientos que confeccionamos mediante el aprendizaje no son otra cosa que conocimientos que se convierten en comportamientos gracias a que adquieren la posibilidad de manipular el sistema motivacional, el sistema Emocional y el mecanismo de Castigo y recompensa (los sistemas que permiten asumir el control del sujeto) por intermedio de su interconexión con un determinado comportamiento innato (base). Y ello es lo que otorgaba una base innata a todos los comportamientos que integramos mediante el aprendizaje, como es el caso de los comportamientos morales. ¿Qué nos faltó por explicar en el artículo anterior? Analizar por qué los nuevos conocimientos que se transformarán en comportamientos, necesariamente tienen que conectarse a un comportamiento base (innato) para, por intermedio de este, obtener el acceso a los tres sistemas de control. A continuación, intentaremos ofrecer al lector la explicación de por qué los nuevos conocimientos, para convertirse en nuevos comportamientos complementarios, necesariamente tienen que interconectarse con un comportamiento base (innato).

*Un nuevo conocimiento se convierte en comportamiento*

Lo primero que tenemos que decir es que la unión de un conocimiento que hemos confeccionado con el comportamiento base para el que trabajará, es lo que sucede al final del proceso de asociación en el que los conocimientos se unen a las emociones en la corteza temporal (en el área de asociación límbica).

Piaget pensaba que los comportamientos automáticos (nuestros comportamientos base y complementarios de origen genético) son la base a partir de la cual se construirán los nuevos esquemas de acción (los comportamientos y procedimientos complementarios que se forman a partir de conocimientos) que terminarán siendo inteligentes (Gomez 2007). Por su parte J C Gómez (2007) nos dice que la flexibilidad

comportamental (la variedad, riqueza y complejidad de los comportamientos) que muestran los primates es el resultado de las representaciones (conocimientos) que han sido capaces de construir durante sus prolongadas infancias. El poder predecir el futuro inmediato, resolver el problema de la materialidad de las cosas y de los desplazamientos invisibles no es la única ventaja que otorga el sistema cognitivo que elabora las implicaciones causales. La otra gran ventaja que proporciona la capacidad cognitiva es la de construir, a partir de la nueva información de referencia y de procedimiento (los nuevos conocimientos), nuevos comportamientos basados en ella.

¿Cómo se convierte un nuevo conocimiento en un nuevo comportamiento complementario?

Para que una nueva información de referencia pueda hacer su trabajo de activar al comportamiento vital cuando se presenta el estímulo señal equivalente a ella, necesariamente tiene que estar conectada a este comportamiento base. Así que al quedar unido el nuevo conocimiento (la información de referencia) al comportamiento base que debe activar, necesariamente también queda interconectada la información de referencia (el conocimiento) a todo lo que anteriormente estaba interconectado a este comportamiento base, en especial, al sistema Motivacional, al sistema Emocional y al mecanismo de Castigo y Recompensa, de manera que el nuevo conocimiento adquiere acceso a los sistemas y mecanismos mediante los cuales se controla al sujeto (del que forma parte) a través del comportamiento base al que se ha conectado. Esta importantísima vía de acceso a estos mecanismos de control es lo que hace que los nuevos conocimientos, la nueva información de referencia o de procedimiento, se puedan transformar en nuevos comportamientos complementarios, ya que dicho acceso le da al conocimiento la posibilidad de activar el sistema Emocional, el mecanismo de Castigo y Recompensa y el sistema Motivacional con el propósito de hacer que otros comportamientos que componen al sujeto se inhiban para así poder tomar el mando del individuo, de los procedimientos motrices, y conducirlo al cumplimiento de la tarea de la que se encarga la nueva información de referencia (conocimiento) transformada ahora en comportamiento complementario.

En resumen, presumiblemente la única vía por la que un nuevo conocimiento (nueva información de referencia) es capaz de activar emociones, sensaciones y sentimientos, es su interconexión con un comportamiento base que se encarga de una función vital. Ello es lo que hace que todos los comportamientos que aprendemos a lo largo de la vida, entre ellos los relacionados con la moral, tengan una base

innata, aunque no sean producto de la decodificación de nuestros genes.

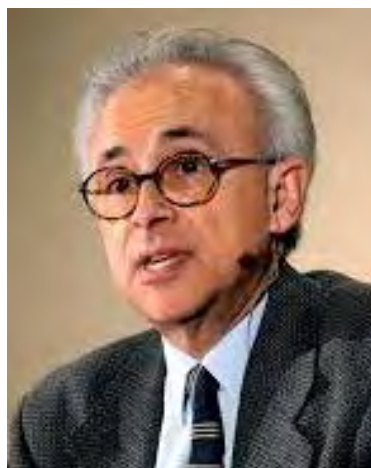
Solo nos queda mencionar que, una vez que un conocimiento se ha transformado en un comportamiento se ha convertido en parte del sistema que desempeña la función ejecutiva.

Nos toca ahora exponer un ejemplo que ilustre lo que acabamos de afirmar.

*Ejemplo de que los conocimientos (información de referencia y de procedimiento) que rigen el control ejecutivo, para poder actuar como comportamientos, necesariamente tienen que interconectarse a los comportamientos base (innatos) del sistema límbico*

El caso Elliot

Elliot es el nombre que Antonio Damasio (2006) da en su revolucionario libro “*El Error de Descartes*” a uno de los pacientes que trató como consecuencia de la gran discapacidad que mostraba para retomar su vida después de una complicada operación. Elliot trabajaba en una empresa comercial en la que había alcanzado una situación profesional realmente envidiable, además era un buen marido y un excelente padre antes de que le apareciera un tumor (un meningioma) en la parte inferior de los lóbulos frontales (encima de las fosas nasales) que los presionaba hacia arriba. Elliot fue intervenido quirúrgicamente para extirpar el tumor y en la operación hubo que seccionarle, entre otros, el importante haz de axones neuronales que interconectan la parte ventromedial de la corteza prefrontal derecha con el sistema límbico. Las consecuencias del tratamiento se pusieron de manifiesto de inmediato, Elliot había perdido la capacidad de decidir, había perdido la función ejecutiva (Damasio 2006).



**Fig. 15.** Al exponer el caso del paciente Elliot y otros parecidos en su célebre libro *El error de Descartes*, el neurocientífico *Antonio Damasio* dio inicio a la revolución más importante que ha ocurrido en la antropología puesto que demostró que, contrariamente a lo que habíamos supuesto hasta ese momento, el mecanismo de toma de decisiones (quien se encarga de nuestra función ejecutiva) no es racional sino emocional.

Se nos explica que todas las pruebas que se le realizaron a Elliot demostraron que el paciente continuaba disfrutando de una inteligencia, razonamiento y capacidad de discernimiento excepcionalmente buenas, su memoria seguía siendo excelente y su capacidad para aprender no había sido afectada en ningún modo. Es decir, la primera fase de la función ejecutiva, la capacidad para elaborar y disponer de los conocimientos (información de referencia y de procedimiento) que nos permiten entender porque no debemos hacer algo en determinado momento o porque debemos llevar a cabo determinada acción en otro, funcionaba correctamente.

Sin embargo, Elliot se volvió por completo incapaz de decidir nada correctamente en su vida. Perdía el tiempo en el trabajo dedicándose a sacarle punta a los lápices o a ordenar los archivos sin hacer lo realmente importante. Fue despedido y se embarcó, uno tras otro, en proyectos y empresas cada vez más alocadas hasta que perdió todo su dinero. En otras palabras, los conocimientos que nos dicen porque debemos o no hacer algo, los conocimientos que nos hacen ver por qué en un determinado momento se debe mostrar una emoción y en otros no (los conocimientos que controlan nuestra función ejecutiva), en Elliot, no eran capaces de actuar como comportamientos. ¿Por qué estos conocimientos (información de referencia y de procedimiento) no podían actuar como comportamientos?

#### La clave del asunto

Antes de llegar a Damasio, Elliot había pasado por varios eminentes psiquiatras y neurofisiólogos que no pudieron entender como un hombre inteligente podía mostrar tal desastroso comportamiento para la vida, ellos no se centraron en un detalle, aparentemente sin importancia en aquellos momentos, pero que sería vital para la resolución del caso. Después de la operación Elliot se había vuelto por completo incapaz de sentir emociones al haberse interrumpido la transmisión de información entre la corteza prefrontal Ventromedial derecha y su sistema límbico. Ahora sabemos que la corteza Ventromedial se encarga de convertir la información que recibe, proveniente del sistema límbico, en las imágenes somáticas que denominamos emociones, sensaciones y sentimientos gracias a sus interconexiones con las distintas cortezas somáticas (Carter 2002).

Nota. La corteza Ventromedial y el Cíngulo cortical (corteza paralímbica) está vinculada a la percepción y expresión de emociones, así como la capacidad de motivación del ser humano. Está implicada tanto, en la experimentación (lo que sentimos), como en la expresión de las emociones, siendo crítica para el procesamiento de emociones asociadas con situaciones sociales

y personales complejas (Damasio 1997; Damasio y Van Hoesen 1984).

En estudios con primates se ha observado que la lesión en la circunvolución del cíngulo provoca la desaparición del llanto por la separación de la madre en los jóvenes y altera la relación de apego en los adultos, despreocupándose del cuidado de las crías (MacLean 1993). Esto, el volverse incapaz de sentir emociones, sensaciones y sentimientos es lo que sucede en el caso de Elliot.

En otras palabras, la intervención quirúrgica que se le practicó a Elliot había afectado el mecanismo que se encarga de la última fase del proceso de toma de decisiones, la fase en la que las emociones que se generan en el sistema límbico (emociones que activan los comportamientos innatos como resultado de la interacción que sostenemos con el medio físico y social en el que vivimos) se convierten en las imágenes somáticas que llamamos emociones, sensaciones y sentimientos gracias a la participación de la corteza prefrontal Ventromedial derecha.

Elliot había dejado de percibir la valiosísima sensación de necesidad de hacer algo que es importante (su sistema motivacional ya no era capaz de hacerse “oír”), había dejado de sentir el premio en forma de satisfacción, regocijo y bienestar que experimentamos cuando hacemos cosas vitales y había dejado de sentir el castigo en forma de sensación de malestar, culpabilidad y de vergüenza que experimentamos cuando no hacemos cosas de importancia vital (su sistema de castigo y recompensa ya no era capaz de influir sobre su actuación).

Ahora estamos en condiciones de explicar por que el caso de Elliot es un ejemplo que nos permite ilustrar la idea de que los conocimientos (información de referencia y de procedimiento), para poder actuar como comportamientos complementarios, necesariamente tienen que interconectarse a los comportamientos innatos (a los comportamientos base).

Evidencia de que los conocimientos (información de referencia y de procedimiento), para poder actuar como comportamientos complementarios tienen que interconectarse a los comportamientos base (innatos) del sistema límbico

El hecho de que Elliot era por completo incapaz de decidir como consecuencia de que en su cerebro no se producía la última fase del proceso de toma de decisiones (la transformación de las emociones generadas en el sistema límbico en las imágenes somáticas que llamamos sensaciones, emociones y sentimientos) debido a que las órdenes en forma de emociones generadas en los diferentes comportamientos innatos del sistema límbico no llegaban a su corteza prefrontal Ventromedial, nos indica que los conocimientos que rigen la función ejecutiva, para poder actuar como comportamientos

complementarios, necesariamente tienen que estar interconectados a esos comportamientos base (innatos) del sistema límbico (los comportamientos que se encargan de que cumplamos las funciones inalienables a la vida). Es posible afirmar esto sin ningún género de dudas debido a que este ejemplo nos muestra claramente que no hay una conexión directa entre los conocimientos ejecutivos (que se encuentran en la corteza orbitofrontal y en la corteza prefrontal dorso-lateral) (Carter 2002) y las áreas corticales donde se confeccionan las imágenes somáticas de las emociones, sensaciones y sentimientos que nos obligan y alientan a que llevemos a la práctica dichos conocimientos (corteza Ventromedial) (Carter 2002), sino que se pone de manifiesto que todos los circuitos a través de los cuales se desempeña la función ejecutiva pasan primero por el sistema límbico, por los comportamientos innatos (base) que se encargan de que cumplamos las tareas inalienables a la vida.

Digámoslo de otra manera, este hecho que acabamos de describir nos permite visualizar nítidamente que los conocimientos ejecutivos no son capaces de hacernos sentir la importantísima sensación de necesidad de hacer algo o de que sintamos el premio por hacer eso o el castigo por no llevar a cabo dicha tarea si no están conectados a los comportamientos base (innatos) del sistema límbico. Ello es la razón por la que nuestros conocimientos morales, para hacer que nos sintamos mal cuando infringimos las normas morales establecidas o para que nos sintamos bien cuando las cumplimos o para que sintamos necesidad de cumplirlas, necesariamente tienen que estar conectados en el sistema límbico a comportamientos base como el Instinto Maternal y el Instinto filial, tal y como pensaba Darwin. Esto es debido a que estos dos comportamientos base son quienes les podrán permitir accionar sentimientos, sensaciones y emociones como la solidaridad, la necesidad de ayudar a los otros, la piedad con los desvalidos, el amor al prójimo y otros que son imprescindibles para vivir en sociedad. Esta interconexión con estos comportamientos de origen genético es la que confiere la base innata a nuestros comportamientos complementarios morales.

### *Estructura de la función ejecutiva*

Como anteriormente mencionamos, nuestras estructuras cognitivas de la corteza prefrontal Dorsolateral confeccionan nuestros conocimientos. Pero estos conocimientos solo se convierten en comportamientos complementarios cuando a través de la corteza Orbitofrontal se conectan con los comportamientos base (innatos) de la amígdala, del hipotálamo y del resto del sistema límbico. Esto ocurre gracias a que la región Orbitofrontal recibe aferencias de la amígdala, de la corteza entorrinal y de la

circunvolución del cíngulo además de todas las áreas sensoriales, mientras que envía proyecciones a la corteza temporal inferior, a la corteza entorrinal, a la circunvolución del cíngulo, al hipotálamo lateral, a la amígdala, al área tegmental ventral, a la cabeza del núcleo caudado y a la corteza motora (Barbas 2000).

Gracias a estas interconexiones con los distintos comportamientos base (innatos) que se encuentran en el sistema límbico, los conocimientos, en el marco de la corteza Orbitofrontal, adquieren la posibilidad de activar el Sistema Emocional, el Sistema Motivacional y el Mecanismo de Castigo y Recompensa a través de esos comportamientos base. Esto, la posibilidad de influir sobre los sistemas de control del individuo es lo que convierte nuestros conocimientos en comportamientos complementarios.

Nuestros comportamientos complementarios morales se hayan en la corteza Orbitofrontal

¿Qué nos permite afirmar que nuestros comportamientos morales radican en la corteza orbitofrontal? Las lesiones en la corteza orbitofrontal provocan trastornos de la conducta que destacan por la actitud desinhibida de los pacientes, cambios en la personalidad caracterizados por la inestabilidad en la manera de ser y de actuar. Irritabilidad y agresividad, reacciones emocionales exageradas ante situaciones de la vida cotidiana, desinhibición e impulsividad, falta de autocontrol sobre la conducta. Dificultad para adaptarse a las normas sociales, llevando a cabo comportamientos socialmente inaceptables. (Junqué y Cardoso 2009; Kolb y Whichaw 2006; Tirapu et al. 2008).

Estudios realizados con monos han demostrado que lesiones en la corteza orbitofrontal dan lugar a conductas inapropiadas en sus relaciones con otros monos y a una variación en los niveles de agresividad (Rolls 1986)

El papel de la corteza Ventromedial y del cíngulo Anterior (la corteza Paralímbica)

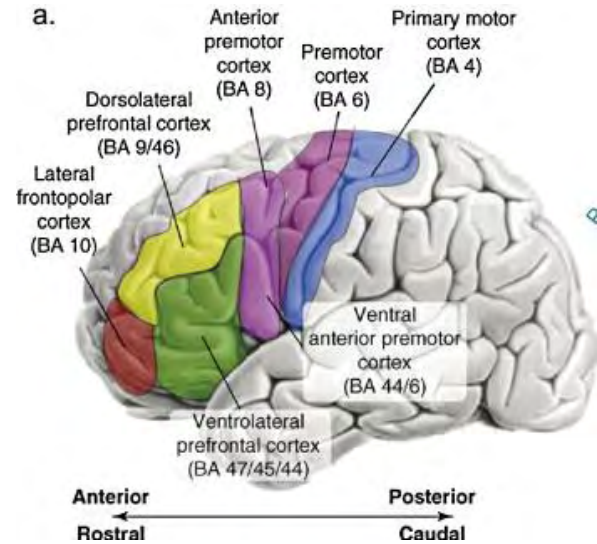
Para que la función ejecutiva pueda desempeñar correctamente su papel, todavía nuestros comportamientos complementarios morales necesitan hacerse "oír". No basta con que logren activar a través de un comportamiento base (innato) la sensación de que es necesario llevar a cabo una determinada actividad o de que es imprescindible no ejecutar un comportamiento particular, para que un comportamiento complementario pueda hacer su tarea es preciso que podamos sentir esa sensación de necesidad o la emoción de vergüenza o el sentimiento de regocijo. Como explicamos a principio del artículo, todas las imágenes que vemos, oímos, olemos, tocamos, gustamos y sentimos los sujetos con corteza cerebral se fabrican en una de

nuestras cortezas sensoriales, de manera que el impulso generado en uno de nuestros comportamientos del sistema límbico, de que es necesario hacer algo, tiene que convertirse en una sensación que podamos sentir y esa es la función de la corteza Ventromedial y del Cíngulo cortical (la corteza Paralímbica), convertir ese impulso de necesidad, deseo, rechazo o aversión que ha sido activado por un comportamiento base en la sensación de necesidad, deseo, rechazo o aversión que experimentamos cuando no podemos dejar de hacer algo o cuando podemos dejar de hacerlo.

¿Por qué sabemos que esta es la función de la corteza Ventromedial y del Cíngulo Anterior? Como mencionamos anteriormente, la corteza Ventromedial está implicada, tanto en la experiencia, como en la expresión de las emociones asociadas con situaciones personales y sociales complejas. La lesión del Cíngulo anterior genera grandes alteraciones de la motivación, indiferencia, disminución de la expresividad facial y de la emocional, tanto verdadera como fingida. (Damasio 1997; Damasio y Van Joesen 1984). También provoca reducción de la actividad espontánea, los pacientes muestran una apariencia estática. Pérdida de iniciativa y motivación, presentan una apatía notable. Alexitimia. Incapacidad en el reconocimiento y por tanto en la expresión de las propias emociones. Esto es lo que sucedía a Elliot después de la operación.

La lesión de esta zona en primates hace desaparecer el llanto por separación de la madre en los monos jóvenes y también altera la relación de apego de los adultos hacia sus hijos, provocando que pierdan el interés de buscarlos, cuidarlos y alimentarlos. (McLean 1993).

¿Qué es lo que permite a la corteza Ventromedial y al Cíngulo anterior convertir los impulsos emocionales activados por los comportamientos base del sistema límbico en las sensaciones que experimentamos cuando estamos emocionados? Esto sucede gracias a que el Cingulado Anterior tiene importantes conexiones con la amígdala, el hipocampo, el septum, el hipotálamo anterior, el núcleo caudado, el putamen, con el núcleo dorsomedial del tálamo y con el lóbulo parietal inferior y con los lóbulos frontales. (Junke y Cardoso 2009; Kolb y Whichaw 2006; Tirapu et al. 2008). Estas, que fueron las conexiones que le quedaron seccio-nadas a Elliot después de la operación, son las que hacen posible que un impulso emocional generado en el sistema límbico pueda ser percibido por nosotros como una emoción. Sin ellas los comportamientos complementarios que controlan nuestro comportamiento (los comportamientos morales) no son capaces de enlazar nuestros deseos innatos, ni tampoco pueden controlarnos para que hagamos



**Fig. 16.** Nuestra corteza Prefrontal Dorsolateral confecciona y almacena nuestros conocimientos gracias a los motores de búsqueda 2. La corteza Orbitofrontal los convierte en comportamientos complementarios gracias a sus interconexiones con todos los comportamientos base (innatos) del sistema límbico, a través de las mismas los conocimientos adquieren el acceso a los sistemas Emocional y Motivacional y al mecanismo de Castigo y Recompensa. Por último, nuestra corteza Ventromedial (paralímbica) convierte los impulsos emocionales generados en estos comportamientos base del sistema límbico en las imágenes somáticas de las emociones, sensaciones y sentimientos que experimentamos. Sensaciones, emociones y sentimientos que nos obligan y alientan o nos prohíben y desmotivan a que ejecutemos o no un determinado conocimiento-comportamiento complementario. Así es como predeciblemente se integran nuestros conocimientos, incluidos los morales, a la función ejecutiva.

en cada momento lo que más nos beneficia a largo plazo, porque no logran hacerse “oír”.

Creo que esta exposición de como un conocimiento se integra, al convertirse en comportamiento, a la red de información que se encarga de nuestra función ejecutiva, nos ayuda a comprender que nuestras emociones morales, aunque tienen una base innata, no están codificadas en nuestro genoma.

*Ejemplos de conocimientos en forma de implicación causal de cadena corta transformados en comportamientos*

Pongamos ahora algunos ejemplos que nos permitan visualizar como funciona el sistema cognitivo que elabora conocimientos en forma de implicaciones causales de cadena corta y para que veamos que esta nueva información de referencia se convierte en los nuevos comportamientos complementarios que van a permitir a los sujetos cumplimentar con determinadas tareas particulares que son parte de alguna función vital.

### Lémures que limpian su comida

Algunos lémures de Madagascar se alimentan de un tipo particular de miriápodos que han desarrollado un sistema de protección que consiste en secretar una sustancia sumamente desagradable con el fin de disuadir a sus potenciales depredadores. Los lémures cogen con las manos estos insectos y los restriegan vigorosamente por el suelo, lo que hace que segreguen grandes cantidades de esta sustancia, además escupen sobre ellos y usan ocasionalmente sus colas, conducidas por las manos, para continuar restregándolos. Solo después de estos preparativos se comen los miriápodos que (cabe suponer) cuentan ahora con mejor sabor (Gómez 2007). Lo más probable es que de manera involuntaria un lémur restregara en el suelo el miriápodo que acababa de cazar, quizás, en el marco de una pugna por el alimento con otro miembro de su grupo (imagen causa). Cuando por fin se lo llevó a la boca notó que su sabor era menos repulsivo (imagen consecuencia). Esta implicación causal se convertiría de inmediato en una memoria gracias al conjunto de emociones que el lémur experimentó en el momento de los hechos descritos. El hecho de que la imagen consecuencia de esta implicación causal esté directamente relacionada con la función vital Nutrición haría que este conocimiento (cuando se restriega un miriápodo sabe menos malo) se convirtiese en información de referencia de su comportamiento Nutrición. Pero no solo eso, al estar interconectado el nuevo conocimiento al comportamiento base Nutrición, también queda interconectado a todo lo que está conectado dicho comportamiento vital, al sistema Emocional, al sistema Motivacional y al Mecanismo de Castigo y Recompensa. El acceso a estos instrumentos de control es lo que hace que este nuevo conocimiento pueda convertirse en el comportamiento que crea en un lémur la necesidad de restregar en el suelo un miriápodo antes de comérselo.

### Madres primerizas

En los parques de aguas termales de Nagano los cuidadores de macacos japoneses (*Macaca fuscata*) tienen que impedir que las madres primerizas se bañen porque a menudo sus crías, colgadas a sus vientres se ahogan (De Waal 2015). Con el tiempo las madres aprenden que el bebé está bien (imagen consecuencia) si en todo momento tiene la cabecita fuera del agua (imagen causa). Esta información de referencia, como es lógico, se anexa al comportamiento base Instinto Maternal con el propósito de alertar a la madre cada vez que su pequeño tiene la cabecita cerca del agua. Y esta conexión con el comportamiento Instinto Maternal es la que le proporciona al nuevo conocimiento (el bebé tiene que tener la cabeza fuera del agua) acceso al sistema

Emocional, al Motivacional y al mecanismo de Castigo y Recompensa para poder convertirse en un comportamiento complementario de control y vigilancia que hace que la madre sienta necesidad de mirar a su bebé cada vez que se mueve con la finalidad de comprobar que su cabecita está fuera del agua.



**Fig. 17.** Las jóvenes macaco japonesas aprenden que para que sus bebes estén a salvo cuando se bañan en una fuente termal (imagen consecuencia) deben tener la cabeza fuera del agua en todo momento (imagen causa).

### Macacos que cuidan sus dientes

Los macacos de cola larga de Tailandia (*Macaca fascicularis*) han descubierto que metiendo y sacando entre los dientes fibras vegetales fuertes o cabellos procedentes de los turistas (imagen causa) pueden remover con facilidad los molestos restos de comida (imagen consecuencia). Esta implicación causal de cadena corta es la información de referencia (el conocimiento) que se interconecta a su comportamiento base Autoacicalamiento para convertirse en el comportamiento complementario que hace que un macaco se limpie los dientes usando “seda” dental.



**Fig. 18.** Los macacos de cola larga de Tailandia usan hilo dental gracias a un conocimiento en forma de implicación causal de cadena corta.



El colobo rojo (*Ptilocolobus badius*) de la Isla de Zanzíbar, África Oriental, se alimenta de hojas de mango y de almendro malabar que contienen altos niveles de toxinas, lo que normalmente les ocasiona problemas intestinales. Para contrarrestar su efecto (imagen consecuencia) ingieren carbón vegetal (imagen causa) que roban a los humanos, este es el antídoto perfecto. Este conocimiento en forma de implicación causal de cadena corta es la información de referencia que al integrarse al comportamiento base Autoacicalamiento se convierte en el comportamiento complementario que hace que los macacos de Tailandia utilicen el carbón para ayudarse durante sus digestiones.

#### Capuchinos que usan repelente

Los capuchinos de cara blanca (*Cebus capucinus*), para evitar la picadura de los mosquitos se embadurnan el cuerpo con la pegajosa sabia del guapinol, que hace de repelente natural. Esto lo hacen porque disponen de un conocimiento en forma de implicación causal de cadena corta que cuando sus imágenes se encienden en su mente le permiten ver que cuando tienen el cuerpo cubierto por la sabia del guapinol (imagen causa) los mosquitos les pican menos (imagen consecuencia). Esta información de referencia integrada al comportamiento Autoprotección se convierte en el comportamiento complementario que hace que los capuchinos de cara blanca se embadurnen el cuerpo con la sabia de guapinol.

#### Redomesticación del perro

Se ha escrito mucho acerca del proceso de conversión de los lobos en perros y durante mucho tiempo atribuimos el haber podido hacer esto a nuestra superioridad cognitiva. Sin embargo, los papiones sagrados de Taï (*Papio hamadryas*) nos han bajado los humos, y de que manera. Resulta que estos babuinos raptan cachorritos a sus madres y los crían en el seno de sus grupos dándoles las sobras de sus comidas. Estos cachorritos, al convertirse en perros les protegen de muchos peligros y les avisan de otros. En otras palabras, utilizan los perros del mismo modo que suponemos hicieron los primeros criadores de lobos mansos. Sin duda los papiones sagrados disponen de un conocimiento en forma de implicación causal de cadena corta que cuando se enciende en sus mentes les permite ver que si conviven y alimentan con un perro desde que es cachorro (imagen causa), de adulto les defenderá y les alertará de los posibles peligros que les asechen (imagen consecuencia). Esta información de referencia integrada a su comportamiento base Autoprotección se convierte en el comportamiento complementario que

hace que los papiones raptan y críen como miembros de su grupo a los cachorros de perro.



**Fig. 19.** Los papiones sagrados de Taï saben que si raptan cachorros para que vivan con ellos (imagen causa) estos cuando se convierten en perros adultos alertan y protegen al clan de potenciales peligros (imagen consecuencia).

Acabamos de exponer una serie de ejemplos que nos permiten ver como determinados conocimientos en forma de implicación causal de cadena corta se convierten en comportamientos. Pero el que un conocimiento sea capaz de activar los mecanismos de control del sujeto para poder ejecutarse cuando la situación lo requiera no significa absolutamente nada si el comportamiento no dispone de un plan motor para ejecutarse. A describir como pudiera suceder la incorporación del plan motor de un comportamiento-procedimiento dedicaremos el siguiente espacio.

#### **Fin del proceso de configuración de un comportamiento. La incorporación del plan motor**

##### *Características del proceso de configuración de comportamientos*

El proceso de configuración de comportamientos y procedimientos es una combinación de aprendizaje por imitación (emulación) y autoaprendizaje. El Neurólogo Francisco J Rubia (2006) nos explica que al parecer el proceso

aprendizaje de los movimientos que integran cualquier procedimiento-comportamiento está compuesto de dos fases, la fase de secuenciación (fase social) y la fase de calibración de los movimientos (fase individual). Por su parte los primatólogos han llegado a la misma conclusión. Inoue-Nakamura y Matsuzawa (1997) han estudiado el proceso de aprendizaje del comportamiento de cascar nueces que exhiben los chimpancés de Bossou, Guinea. Procedimiento de aprendizaje que describen como una mezcla de un corto aprendizaje social y un largo período de aprendizaje individual en el que los sujetos practican y practican con la intención de perfeccionar la secuencia de movimientos que emplean para realizar el procedimiento-comportamiento. Jane Goodall (1968) también sugiere lo mismo, que el proceso mediante el cual los chimpancés de Gombe aprenden a pescar termitas es una mezcla de un corto período de aprendizaje social (emulación-imitación) y un largo período de aprendizaje individual durante el que se rectifican constantemente los movimientos que se emplean para realizar la acción.

#### *Primera fase del proceso de configuración de comportamientos. La formación de la asociación rectora*

Durante la primera fase del proceso de configuración de un comportamiento se produce la construcción de la asociación rectora, se trata de la asociación de una secuencia visual (en la que el sujeto puede ver las diferentes partes de la acción) con la secuencia de imágenes somático-propioceptivas que experimentamos al ejecutar los movimientos correspondientes a las acciones que componen el procedimiento-comportamiento. Esta primera fase del proceso de configuración se compone de tres partes en la que suceden tres procesos diferentes. La construcción de esta importantísima asociación entre la secuencia visual y la secuencia somática es, como veremos, lo que hace posible desarrollar la segunda parte del proceso de configuración de un comportamiento-procedimiento, la calibración del plan motor, o lo que es lo mismo que decir, la construcción de un nuevo plan motor.

#### *Primera parte de la construcción de la asociación rectora. La elaboración de la secuencia visual*

La secuencia visual no es otra cosa que un conocimiento y, por lo tanto, puede formarse de manera involuntaria o de manera voluntaria. Se trata de una secuencia de imágenes visuales que al encenderse en nuestra mente nos permite ver como una determinada causa ocasiona una particular consecuencia. La secuencia puede ser corta (solo dos imágenes), como la que mayoritariamente se convierte en comportamientos o larga (más de dos imágenes), como las que usualmente

se convierten en procedimientos. Para que cualquier secuencia de imágenes se convierta en un conocimiento necesariamente tienen que convertirse en una memoria, lo que quiere decir que las interconexiones entre las redes de neuronas que se encargan de encender en la mente las diferentes imágenes que integran la secuencia tienen que consolidarse. Y este proceso de consolidación de la asociación de las redes neuronales implicadas suele suceder de dos maneras, de manera involuntaria y de manera voluntaria.

#### *Consolidación involuntaria de un conocimiento*

Esto sucede cuando el mismo acontecimiento se presencia una y otra vez constantemente (se presencia la causa y a continuación su consecuencia) como cuando un macaco japonés (el ejemplo lo desarrollaremos en el siguiente espacio) ve cada temporada que habiendo frutos de akebi al pie del árbol también hay frutos en la copa del árbol y como consecuencia se forma en su mente el conocimiento, en forma de implicación causal de cadena corta, si hay frutos al pie del árbol (imagen consecuencia) entonces, hay frutos en el árbol, (imagen causa). También se produce aprendizaje involuntario cuando se presencia el acontecimiento en el marco de un fortísimo estado emocional, este podría ser el caso de la cebra que ve primero sumergirse y después salir al cocodrilo del agua. En estos casos la consolidación de las redes neurales (la formación de la memoria-conocimiento) ocurriría de manera automática, por repetición del estímulo o por que el estímulo se presenta en el marco de un fuerte estado emocional.

También en el caso de que el sujeto presencie la acción de un modelo destinada a obtener algún alimento originaría un poderoso estado emocional capaz de consolidar las redes neuronales de la secuencia rectora. En este caso particular la memoria de trabajo mantendría encendida en la mente la secuencia visual rectora el tiempo suficiente como para que el mecanismo de Cognición Encarnada agregue la secuencia motriz que mejor se adapte a los requerimientos de la tarea que se quiere copiar. Esta variedad de aprendizaje solo sucede cuando el aprendiz ya cuenta en su arsenal de secuencias motrices un programa motor en alguna medida similar a la que ejecuta el modelo. Al final del artículo expondremos un interesantísimo experimento desarrollado por Klaus Suberhübler que nos permitirá entender correctamente esto.

#### *Consolidación voluntaria de un conocimiento*

Un conocimiento se puede obtener de dos maneras diferentes, la primera de ella, que es muy simple, ocurre cuando podemos ver directamente en las imágenes visuales proyec-

tadas en la mente como de la causa se produce la consecuencia o viceversa (esto sucede cuando vemos un modelo ejecutando una acción destinada a conseguir un determinado propósito). En este caso la consolidación del conocimiento se va produciendo paulatinamente con cada vez que la capacidad cognitiva proyecta en la mente la secuencia causal que muestra al modelo ejecutando la acción que se quiere copiar. Mientras más veces se enciendan estas imágenes en la mente, más rápidamente se consolidarán las uniones entre todas las redes de neuronas implicadas en generar dichas imágenes.

¿Por qué las estructuras cognitivas encienden en la mente los conocimientos? Imaginemos que hemos ido a una clase de bachata y ahora en casa estamos tratando de reproducir lo que nos han enseñado. Para lograrlo precisamos proyectar la mente la secuencia visual que nos muestra al profesor con la monitora ejecutando el paso o la figura que queremos repetir. Cada vez que un ave o un mamífero se dispone a reproducir en solitario un comportamiento que ha visto ejecutar a otro miembro de su grupo, necesariamente su capacidad cognitiva tiene que proyectar en su mente la secuencia de imágenes que le muestran al modelo ejecutando la acción.

La segunda manera de consolidar un conocimiento es muchísimo más compleja porque en ella solo tenemos una de las dos imágenes que componen el conocimiento, la imagen causa o la imagen consecuencia, esta imagen que poseemos es el problema que tenemos que resolver. Así que hay que fabricar el conocimiento, encontrar la imagen que nos falta, antes de poder consolidarlo. El conocimiento que intentamos obtener a partir de esta imagen inicial del problema estará destinado a conseguir que no ocurra esta situación porque nos perjudica, o por el contrario a lograr que suceda porque nos beneficia.

¿Cómo las estructuras mnésicas fabrican la imagen que nos falta para completar el conocimiento que será la secuencia visual rectora?

Para completar el conocimiento que constituirá la secuencia visual rectora las estructuras cognitivas comienzan a buscar y activar en la mente todos aquellos conocimientos, que y poseemos, que pudieran convertirse en la imagen (causa o consecuencia) que nos falta para completar el conocimiento. Los conocimientos, como veremos más adelante, se superponen en la Matriz Lógico Comparativa conjuntamente con la imagen que ya poseemos (la imagen del problema a resolver) hasta que las estructuras mnésicas pueden ver claramente cual es la causa que provocara o no, según nos interese, la consecuencia. O viceversa, se sacan y superponen conocimientos en la MLC hasta que pueden ver cual es la consecuencia que es provocada por esta causa que ya conocemos.

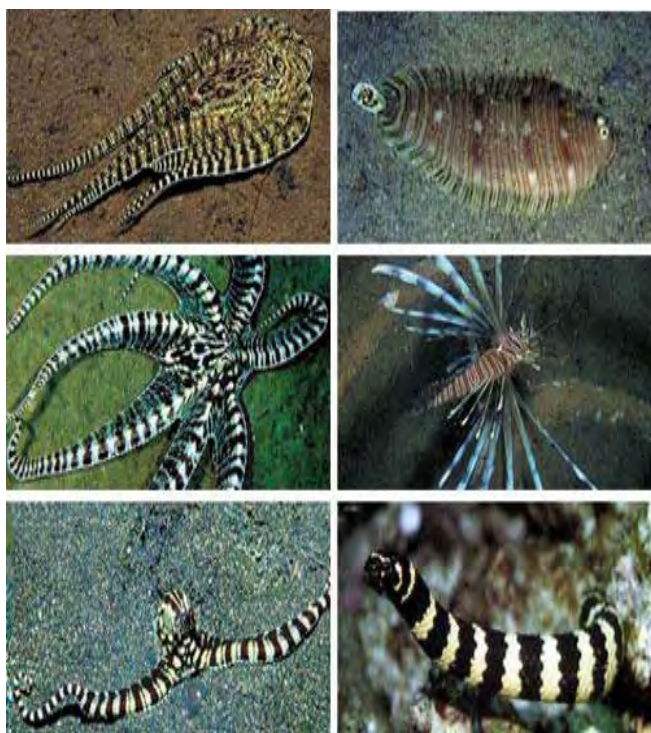
Al final de la segunda parte de este artículo exponemos un ejemplo basado en una investigación de Klaus Suberhüler de la Universidad de San Andrews, Escocia, en la que se puede observar claramente como sucede esto.

Este farragoso y complejo proceso de aprendizaje se produce siempre que un ave o mamífero se encuentra con un reto de supervivencia diferente de los que habitualmente enfrenta. Por ejemplo, a finales de los años 50 los jóvenes y las hembras de menor rango de la comunidad de macacos japoneses de la isla de Koshima normalmente no tenían el problema de que los machos dominantes les quitaran la comida que encontraban porque se cuidaban de alejarse de ellos para buscar alimento. Pero una vez que los científicos dirigidos por Masao Kaway de la universidad de Kioto comenzaron a dejar boniatos enterrados en la arena, boniatos que tenían que limpiar antes de comer, los machos dominantes que ahora estaban junto a los jóvenes y hembras de menor rango, en vez de limpiar sus boniatos comenzaron a arrebatarlos de las manos de los subordinados cuando ya estaban limpios. Así que a estos se les presentó el problema de que tenían que ser capaces de limpiar los boniatos con la suficiente rapidez (imagen causa desconocida) como para que les diera tiempo de comer una parte de ellos antes de que un macho dominante se los arrebatara (imagen consecuencia). Este fue el nuevo problema que resolvió la capacidad cognitiva de Imo. Problema que solucionó construyendo el famosísimo conocimiento de meter en el agua del riachuelo cercano el boniato (imagen causa) y este salía de inmediato limpio de arena por lo que lo podía consumir antes de que llegara el macho dominante a arrebatárselo (imagen consecuencia). Este es el importante proceso cognitivo mediante el cual se han ido elaborando todos los comportamientos complementarios (no innatos) que exhiben todas las especies de aves y mamíferos. Resumiendo, el trabajo de elaboración de los nuevos conocimientos que formarán parte de la secuencia visual rectora no sucedería si no existirán estructuras capaces de buscar en los archivos cognitivos y de las diferentes memorias las informaciones necesarias y proyectarlas en la mente.

La consolidación del nuevo conocimiento ocurriría también paulatinamente en la medida que más veces fuese encendido el conocimiento en la mente del sujeto por las estructuras cognitivas. Esta es precisamente la estrategia que utilizamos los humanos para aprender de memoria cosas, las repetimos muchas veces (las proyectamos en la mente) y esta repetición es lo que consolida la unión entre las redes neuronales que se encargan de generar las imágenes que nos permiten visualizar dicho conocimiento (la imagen causa y la imagen consecuencia del mismo).

Segunda parte de la primera fase de la construcción de la asociación rectora. La incorporación de la secuencia motora

Lo segundo que sucede en el proceso de construcción de la secuencia rectora es la integración de la secuencia de imágenes visuales que componen la acción con el conjunto de movimientos secuenciados que nos permitirán ejecutar dicha acción. Me refiero a la secuencia de contracciones y extensiones de los músculos que intervendrán en los movimientos que componen cada uno de los pasos de la acción. Esta parte del proceso, aunque sucede en la corteza cerebral (particularmente en las neuronas espejo), la estructura que adjudica a una determinada secuencia de imágenes visuales la secuencia correcta de imágenes motoras es una estructura subcortical, el sistema de Cognición Encarnada.



**Fig. 20.** El mecanismo de Cognición Encarnada se encarga de convertir la información visual que se percibe en información de movimiento capaz de reproducir las características (forma y color) de lo que se ve. Este mecanismo, que por evolución homóloga o análoga ha llegado a los mamíferos, es quien se encarga de asignar programas motrices a las imágenes visuales que percibimos. Sin su trabajo jamás podríamos aprender nuevos comportamientos ni tampoco podríamos enterarnos de lo que sienten las otras personas. De aquí que podamos afirmar que el mecanismo de Cognición Encarnada es una pieza clave del proceso evolutivo que permitió el surgimiento de los mamíferos.

El sistema de cognición encarnada es un mecanismo subcortical

Este mecanismo es quien se encarga de que podamos imitar desde nuestro nacimiento. Meltzoff (1977) demostró que un bebé de 41 minutos de vida, sin habilidades cognitivas, era capaz de imitar, activar la secuencia motriz correspondiente a la secuencia visual que percibía (el gesto del investigador que el bebé imitó). Este experimento nos permite afirmar que el mecanismo que une en una neurona espejo una imagen visual que hemos percibido con el correspondiente plan motor que debe ejecutar nuestro cuerpo para que podamos reproducir lo que hemos visto es un mecanismo subcortical debido a que esta temprana edad la corteza cerebral apenas comienza a “contener” información.

También el hecho de que al ver la cara de un delfín que parece estar sonriendo (aunque los delfines no sonríen puesto que no tienen músculos faciales) la neurona espejo que se activa en nuestro cerebro genera una sonrisa en nuestra cara es una evidencia de que quien asocia la secuencia motriz a la secuencia visual rectora es un mecanismo subcortical muy primitivo. Porque si el mecanismo de Cognición Encarnada radicara en la corteza cerebral de alguien que dispone del conocimiento de que los delfines no pueden sonreír (puesto que no tienen músculos faciales) este conocimiento impediría que la visión de un delfín produjese una sonrisa en la cara de esta persona, cosa que pude comprobar yo mismo que no acontece.

El último argumento que nos conduce a pensar que el Mecanismo de Cognición Encarnada no está en la corteza cerebral es el hecho de que para que fuera posible confeccionar nuevos conocimientos y comportamiento mediante el aprendizaje y que con este propósito surgiese la corteza cerebral, necesariamente los sujetos tendrían que nacer cada vez menos capaces de valerse por sí mismos por lo que tendría que extenderse el período durante el cual los padres cuidan a hijos cada vez más inmaduros en el momento de nacer. Pero para cuidar hijos inmaduros es preciso poder conocer sus necesidades de manera de poder satisfacerlas y para ello tendría que aparecer un mecanismo capaz de convertir las imágenes visuales de lo que hacen y sienten los otros, en los movimientos que nos permiten hacer lo mismo y sentir lo mismo. Es decir. Para que apareciese la corteza cerebral era preciso que primero estuviese funcionando el mecanismo de cognición encarnada (Pérez 2016).

Como trataremos de ilustrar en este espacio, el mecanismo de Cognición Encarnada adjudica (une) la secuencia motora correspondiente a la secuencia visual rectora en una neurona espejo de la corteza premotora (al parecer, en todos los

primates) y activa en la corteza motora, entre todas las que disponga el sujeto, la secuencia motriz más idónea para realizar la acción (Fadiga 1995).



**Fig. 21.** El hecho de que bebés tan pequeños, con las cortezas motoras casi vírgenes, sean capaces de imitar es una evidencia de que el mecanismo que adjudica una determinada secuencia motriz correspondiente a una determinada secuencia visual (el mecanismo de Cognición Encarnada) es un mecanismo subcortical a pesar de que la unión de las dos secuencias ocurre en las neuronas espejo.

#### *Características de la incorporación de la secuencia motora*

Un repertorio único de acciones para cada sujeto con corteza cerebral

Como hemos mencionado, un plan motor es un mecanismo capaz de hacer que cada uno de los músculos que intervendrán en un determinado movimiento se contraigan o expandan con una rapidez e intensidad específicas, así la parte del cuerpo que se mueve lo hará de la manera requerida. Una secuencia motriz consiste en una concatenación de planes motores que secuencialmente van accionando un determinado grupo de músculos de diferentes partes del cuerpo con el propósito de ejecutar determinada acción.

A pesar de que los primates transmitimos genéticamente algunos movimientos como el latido del corazón, los movimientos respiratorios, la sonrisa de Duchenne en nuestro caso, el bostezo y algunos otros, la inmensa mayoría de los movimientos que integran las acciones que somos capaces de realizar los aprendemos a partir del nacimiento. Así que cada sujeto dispone en sus cortezas motoras de un repertorio único de secuencias motrices con el que da respuesta a todos los retos que le impone su medio. Se trata de un repertorio particular para cada individuo porque estos programas motrices se van confeccionando con arreglo a las necesidades del sujeto, en dependencia de la calidad del funcionamiento de sus capacidades cognitivas y con arreglo a la cultura que transmite su grupo de

nacimiento. En la última parte de este espacio abordaremos la explicación acerca de como se confecciona una nueva secuencia motriz.

Las secuencias motrices se incorporan involuntariamente

La incorporación de la secuencia motriz correspondiente a la secuencia visual rectora (por ejemplo, la que produce el mismo movimiento que se ha visto ejecutar a un modelo), al parecer, ocurre de manera involuntaria por intermediación del sistema de Cognición Encarnada. Veamos un hecho que parece demostrarlo. Pier Francesco Ferrari se hallaba trabajando con macacos que habían participado en muchos otros experimentos con anterioridad, probablemente algunos de ellos desde muy temprana edad se habían ido familiarizando con muchos de los estudios que se realizaban y con los procedimientos empleados durante las investigaciones. Hasta el instante que intentamos describir jamás, en 10 años de investigación con neuronas espejo, se había podido detectar que estas células se activaran cuando el individuo observaba a un investigador usando una herramienta para manipular una pieza de fruta. De aquí que los científicos se quedaran anonadados y estupefactos cuando se descubrió actividad en una neurona espejo en el instante en el que un macaco observaba a un investigador cogiendo una uva con unas pinzas. Después se comprobó que dichas neuronas espejo reaccionaban al uso de las pinzas y al uso de una vara con la que también se manipulaba la fruta (Iacoboni 2011).

Nota. Tengamos en cuenta que la activación de la neurona espejo que codifica un determinado movimiento genera actividad eléctrica en los músculos que intervienen en dicho movimiento, aunque el individuo esté completamente quieto. Ello es lo que nos hace saber que en las neuronas espejo de estos macacos se codificaron estas secuencias de movimientos. Así que, cuando en una neurona espejo se ha codificado un comportamiento que se ha visto realizar a otro individuo, lo que ha sucedido es que en ella se ha codificado la secuencia de movimientos que permitirá ejecutar el mismo comportamiento al individuo del que forma parte (quien ha observado el comportamiento) (Iacoboni 2011). El hecho de que en la corteza premotora de los macacos, que no usan herramientas, y que tampoco intentaron aprender a usarlas en ningún momento, se codificara la secuencia motriz que les permitiría coger fruta usando herramientas nos está sugiriendo que la codificación en las neuronas espejo de una secuencia de movimientos equivalente a la secuencia de movimientos que ejecuta un modelo (equivalente a la secuencia visual rectora) es un proceso que ocurre de manera automática al margen de la voluntad o de la intención del sujeto.

Ahora, la pregunta que tenemos que hacernos es, ¿podrían haber usado estos macacos las pinzas para coger la fruta? La respuesta a esta pregunta la encontraremos a continuación.

Las secuencias motrices que tenemos en un momento dado almacenadas en nuestras cortezas motoras son las que primero se emplean

Tomasello y cols. (1987) desarrollaron un estudio en el que dejaban comida fuera del alcance de chimpancés que nunca habían utilizados rastrillos y, por supuesto, un rastrillo a mano con la intención de ver si era utilizado, pero en esta parte del experimento los sujetos nunca emplearon la herramienta. En la segunda parte del estudio se permitió que los chimpancés pudieran ver como otros póngidos, que ya sabían como hacerlo, usaran el rastrillo para alcanzar la comida. A partir de este momento todos los sujetos participantes emplearon el rastrillo para alcanzar el alimento, pero lo realmente curioso es que no lo hicieron como los modelos, lo hicieron cada uno a su manera. Incluso, cuando erraban, cada uno de ellos siguió apostando por su método personal de hacer las cosas a pesar de que haber imitado al modelo les hubiera sido más beneficioso.

El hecho de que primero se eche mano a los programas motrices que se disponen y solo si no sirven para resolver un determinado problema se cree una nueva secuencia motriz, como veremos al final del artículo, reviste una gran importancia evolutiva debido a que la construcción de nuevos procedimientos motores es en extremo costosa en tiempo y recursos. De manera que cuando se trata de resolver cualquier problema, por novedoso o complicado que sea, lo primero que se hace es echar mano a los programas motrices de los que se dispone. Esta situación es la que hace que cuando el sistema subcortical de Cognición Encarnada une a la secuencia rectora visual, la secuencia de movimientos que permitirá ejecutar la acción, no anexa una secuencia idéntica a la que ejecutó el modelo, sino que incorpora una secuencia compuesta con los programas motrices que dispone el sujeto aprendiz en ese instante. Solo cuando las secuencias de las que dispone un sujeto no sirven para realizar determinada acción necesaria se construye una nueva secuencia de movimientos para resolver ese problema en específico. Ello es la razón por la que cada uno de los chimpancés que comenzaron a utilizar el rastrillo lo empleó a su manera y no siguiendo a pies juntillas el plan motor utilizado por los modelos. A partir de que se ha confeccionado un nuevo programa motriz, este se convierte en un recurso más que empleará el sujeto para solventar los retos de la subsistencia.

Ahora estamos en condiciones de responder la pregunta que dejamos abierta más arriba. ¿Podía el macaco de Ferrari usar las pinzas para coger fruta? Solo podemos ejecutar una determinada acción si disponemos de la secuencia motriz capaz de realizarla. El hecho de que el sistema de Cognición Encarnada, que es un mecanismo muy primitivo y elemental, una una secuencia motriz a la secuencia visual rectora no quiere decir que esta será capaz de ejecutar la acción, esto es lo que sucedería al macaco de Ferrari que no disponía de secuencias motrices capaces de manipular herramientas. El sistema de Cognición Encarnada lo que hace es acoplar la secuencia motriz, de entre todas las que tenemos, que más se acerca a la que se ha visto ejecutar al modelo. Si esta es capaz de realizar correctamente la acción, todo irá bien, pero si esta no se ajusta a los requerimientos de la actividad se precisa construir una nueva secuencia motriz. La pregunta que salta a la vista en este instante es, ¿Cómo se construye una secuencia motriz? Enseguida entraremos en materia.

#### *Continuamos con la primera fase de la construcción de la asociación rectora*

Tercera parte de la primera fase de la construcción de la asociación rectora. La incorporación voluntaria de la secuencia somática-propioceptiva

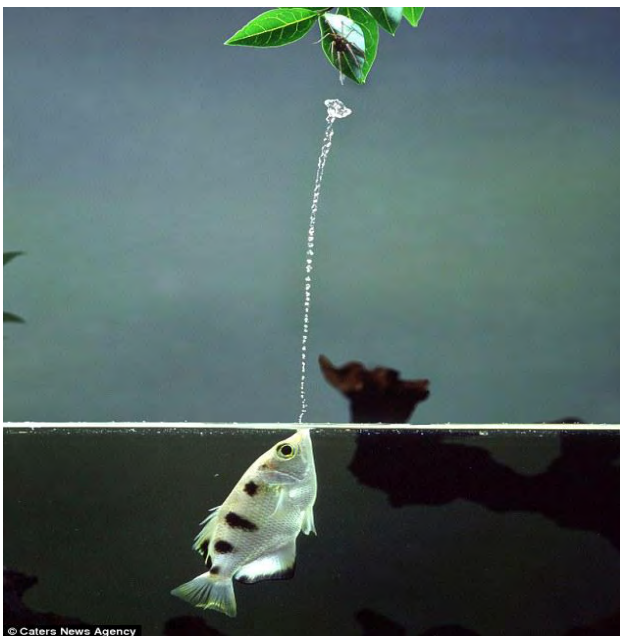
¿Cómo se une a la secuencia rectora visual-motora la secuencia somático-propioceptiva? Una vez que se ha codificado en una neurona espejo la unión entre el conocimiento (la secuencia de imágenes visuales que componen la acción) y el procedimiento motor (la secuencia contracciones y extensiones musculares que provocan cada uno de los movimientos que integran la acción) el sujeto está capacitado para comenzar a ejecutar la acción. La ejecución de una acción destinada a la consecución de un objetivo normalmente ocurre como consecuencia de la participación de nuestra voluntad. En cuanto se comienza a desempeñar acción (en cuanto se desarrollan los movimientos que la componen) comienzan a llegar a la corteza somática impulsos procedentes de todas las partes del cuerpo implicadas en los movimientos. Estos impulsos impactan en las neuronas de la corteza somática y esta comienza a construir la secuencia de imágenes somáticas correspondientes a la secuencia motriz que se está ejecutando. Secuencia somática que se une a la secuencia visual rectora y a la secuencia motriz en la neurona espejo terminando con ello la primera fase del proceso de construcción de la asociación visual-motriz-somática rectora que conducirá la ejecución del comportamiento-procedimiento.

*La ceremonia del té, la segunda fase del proceso de elaboración de la secuencia rectora del movimiento. La calibración del plan motor, la construcción de la nueva secuencia motriz*

Cuando se trata de copiar un comportamiento que hemos visto ejecutar a un modelo o cuando empleamos un nuevo comportamiento (basado en conocimiento recientemente elaborado) para el que disponemos de una secuencia motriz adecuada no se produce la construcción de una nueva secuencia motriz puesto que no es necesario. Pero cuando no se dispone de ninguna secuencia motriz capaz de desempeñar con éxito un determinado comportamiento-procedimiento (copiado o cognitivo) entra en funcionamiento el mecanismo que construye las secuencias motrices.

Antecedentes del mecanismo que construye nuevas secuencias motrices

La posibilidad de confeccionar nuevas secuencias de movimientos ya existe en los peces, por ejemplo, los peces arqueros jóvenes calibran y vuelven a calibrar los movimientos bucales que generarán el poderoso chorro de agua y la posición del cuerpo con relación al insecto que pretenden derribar (a partir de información visual y somática) hasta que consiguen la efectividad que les caracteriza.



**Fig. 22.** El mecanismo que permite construir nuevas secuencias motrices mediante la calibración de los esfuerzos musculares ya existe en peces. Este es el que permite que los peces arqueros vayan poco a poco afinando la puntería hasta que se vuelven capaces de derribar insectos con un chorro de agua.

La materia prima a partir de la cual se elaboran nuevas secuencias motrices

¿Sobre qué trabaja el sistema que elabora las nuevas secuencias motrices, cual es la materia prima que utiliza para realizar su trabajo? Como acabamos de explicar, el sistema de Cognición Encarnada siempre asigna a una determinada secuencia visual rectora (conocimiento) la secuencia motora que mejor sea capaz de ejecutar lo que el conocimiento visual describe. Esta secuencia motriz es la materia prima que comenzará a modificar el mecanismo de “La Ceremonia del Té” para convertirla en una secuencia motriz capaz de ejecutar a la perfección la acción establecida por la secuencia visual rectora (el conocimiento).

El mecanismo de la Ceremonia del Té

La esencia de la ceremonia del té consiste en lograr la máxima economía de movimientos, es decir, ejecutar la acción de servir el té con la precisión más absoluta que se pueda alcanzar. Muchas personas en Japón entrenan para aprender la ceremonia del té durante todas sus vidas y las Maiko emplean dos años de estoico entrenamiento para lograr que sus movimientos sean perfectos a la hora de servir esta bebida estimulante. ¿Quién se encarga de lograr que alcancemos la perfección de los movimientos que empleamos para ejecutar una acción? El sistema de interconexiones neuronales en bucle que existe entre el cerebelo, por una parte y las cortezas visual, somática y motora, en especial, con el área de asociación de imágenes visuales y somáticas; por la otra.

Importancia de la corteza que asocia imágenes somáticas con imágenes visuales en el proceso de la construcción-calibración de las nuevas secuencias de movimiento

Las personas con síndrome de Asperger, como quien escribe este artículo, no disponen del área que asocia imágenes somáticas con imágenes visuales, ello es lo que provoca su gran discapacidad para reconocer emociones complejas. Circunstancia que se evidencia en el anormalmente reducido número de neuronas espejo que poseen en la corteza parietal (Iacoboni 2011). La falta de dicha importantísima estructura, además de provocar una importantísima discapacidad para reconocer emociones complejas genera descoordinación ojo-mano, lo que se traduce en una importantísima discapacidad a la hora de ejecutar correctamente hasta las secuencias de movimientos más simples, como puede ser el tirar una piedra y dar en el blanco o pelar una patata o escribir a mano. Esta circunstancia pone en evidencia el importante papel que desempeña el área de asociación visual motora en el marco

del proceso de construcción-calibración de una nueva secuencia motriz.

#### Funcionamiento del mecanismo de la Ceremonia del Té

Cuando entra en acción el mecanismo de la Ceremonia del Té comienza verdaderamente la segunda fase del proceso de construcción de la nueva secuencia motriz rectora ya que en este momento comienzan a regularse y calibrarse todos los movimientos de brazos, ojos, manos, dedos, hombros, codos y demás partes del cuerpo hasta que cada una de estos miembros logran moverse en el momento justo, de la manera precisa y con la fuerza idónea para que la acción resulte exitosa. Este proceso de calibración de la contracción y relajación de todos los músculos que intervienen cuando se despliega el comportamiento-procedimiento sucede mediante la inhibición a largo plazo de las células de Purkinje (Gilbert y Thach 1977; Ito y Kano 1982; Delgado 2001). Y a través de este mecanismo se convierte, una secuencia motriz inadecuada para ejecutar determinado procedimiento-comportamiento, en la secuencia motriz capaz de hacerlo a la perfección. Ojo, esto no quiere decir que la secuencia motriz materia prima se transforme, esta sigue existiendo tal y como es y desempeñando su cometido. Lo que sucede después del funcionamiento del mecanismo de la Ceremonia del Té es que se construye una nueva secuencia y esta quedará almacenada en las cortezas motoras. Lista para cuando haya que realizar la acción para la que fue creada o lista para que, a partir de ella, se pueda elaborar en el futuro una nueva secuencia motriz, todavía más compleja, destinada a formar parte de un comportamiento distinto. Todo gracias al funcionamiento del mecanismo de la Ceremonia del Té, las conexiones en bucle entre el cerebelo y las cortezas motora, visual y somática.



**Fig. 23.** El proceso de construcción de nuevas secuencias motrices no es más que un proceso de recalibración de antiguas secuencias motrices que sucede gracias a las conexiones neuronales en bucle que existe entre el cerebelo, por una parte y las cortezas visual, somática y motriz por la otra. Este es el mecanismo de la Ceremonia del Té porque es el mismo sistema que permite aprender esta bonita tradición japonesa.

Los chimpancés construyen nuevas secuencias motrices

¿Cuándo comienza a producirse la segunda fase del proceso de construcción de la secuencia rectora (la construcción de un nuevo plan motriz)? La calibración de los movimientos comienza a producirse desde el instante en el que comienza a generarse la secuencia somática. Esto nos quiere decir dos cosas, que la fase de calibración de la secuencia motora ocurre al mismo tiempo que se realiza la última parte de la construcción de la asociación rectora (cuando se asocia a la secuencia visual-motora la secuencia somática) y que el proceso de calibración de una secuencia motriz (el proceso de construcción de una nueva secuencia motriz) es un proceso voluntario. Jane Goodal (1968) nos describe que los jóvenes chimpancés, de entre 2 y 2,5 años, comienzan a introducir tallos y palitos por los agujeros de los termiteros que sus madres acaban de utilizar, pero lo hacen con herramientas y técnicas inadecuadas. Esto quiere decir que se ha puesto en marcha un proceso cognitivo encaminado a elegir correctamente la herramienta adecuada y se ha desencadenado también un proceso de calibración de las secuencias motrices que, gracias a los bucles de interconexiones entre el cerebelo y las cortezas, visual, somática y motora conducirá a la elaboración de la secuencia motriz correcta que permita extraer muchas termitas en cada intento. Pero tienen que pasar todavía dos años más de duro aprendizaje y entrenamiento para que los chimpancés dispongan de los conocimientos necesarios acerca de las características que debe tener la herramienta idónea y hayan codificado las secuencias motrices capaces de operar con estos instrumentos en los agujeros de los termiteros con suma precisión para extraer el mayor número de termitas posible.

*Conclusión del análisis del proceso de aprendizaje de un nuevo comportamiento-procedimiento. El aprendizaje siempre es voluntario*

Fases de aprendizaje voluntario y fases de aprendizaje involuntario

Como hemos descrito a lo largo de este espacio que hemos dedicado a explicar como se produce el proceso de aprendizaje de un comportamiento, hay fases del proceso en el que el aprendizaje es voluntario y fases del proceso en las que el aprendizaje es involuntario y fases del proceso en las que el aprendizaje puede ser voluntario o involuntario. A estudiar esto pormenorizadamente dedicaremos el próximo espacio. Así que ahora solo expondremos las conclusiones de lo que hemos visto hasta aquí.



La incorporación de la secuencia visual rectora, si es un nuevo conocimiento, ha sido confeccionada de manera voluntaria por las estructuras cognitivas. Pero si la secuencia rectora es una copia de un grupo de acciones destinadas a un objetivo realizadas por un modelo, aunque lo normal es que participen en su consolidación las estructuras cognitivas (si están funcionando), también esta secuencia visual puede consolidarse por el sistema de asas, gracias a la participación de la memoria de trabajo, sin necesidad de que intervengan las estructuras cognitivas y, por ende, en este caso el proceso de aprendizaje de la secuencia visual rectora (el conocimiento) es involuntario.

El proceso de incorporación de una secuencia motriz a la secuencia visual rectora siempre es un proceso automático que ejecuta el mecanismo de Cognición Encarnada de aquí que esta fase sea involuntaria.

El proceso de creación, por parte del mecanismo de la Ceremonia del Té, de una nueva secuencia motriz en el caso de que la secuencia motriz asociada con la secuencia visual rectora no de la talla es un proceso voluntario debido a que sucede gracias a que hay un comportamiento base que está activando la sensación de necesidad que obliga al sujeto a practicar y practicar hasta que logra efectuar correctamente los movimientos que integran la secuencia motriz.

De esto podemos extraer una importantísima conclusión.

El aprendizaje siempre es voluntario

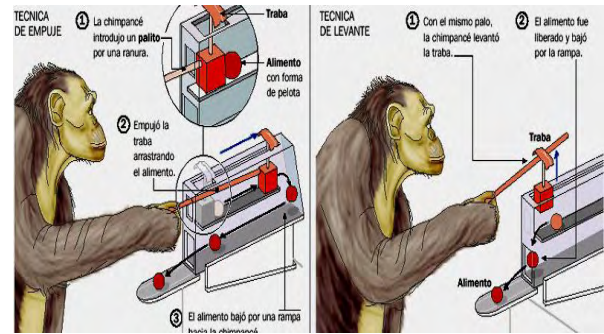
El proceso de aprendizaje de comportamientos siempre es voluntario debido a que jamás se produciría si un sujeto no siente la sensación de necesidad de aprender algo y o de copiar un comportamiento que ha visto. Por ello tenemos que dejar bien claro que cuando hablamos de aprendizaje involuntario nos referimos únicamente al proceso de confección de la secuencia visual rectora. Si participan las estructuras cognitivas el aprendizaje es voluntario y si no lo hacen el aprendizaje es involuntario.

Atendiendo a estas circunstancias; ¿es posible aprender y por supuesto ejecutar un nuevo comportamiento sin que haya de por medio aprendizaje voluntario, sin que trabajen las estructuras cognitivas? Veamos un caso real.

Un experimento realizado en Yerkes nos puede servir para entender esta cuestión

Andrew Whiten desarrolló un interesante estudio en el Yerkes National Primates Reserch Center de Atlanta. Se construyó un aparato que soltaba recompensas si se levantaba con un palito una tapa o si se empujaba la tapa hacia atrás. Se escogieron dos hembras dominantes de dos grupos diferentes Georgia y Ericka y a cada una

se les enseñó una de las dos maneras de obtener la recompensa. Cada grupo copio el comportamiento de su hembra dominante y aunque uno de los dos procedimientos entregaba la comida dos veces más rápido que el otro, dos meses más tarde los miembros de cada grupo, algunos de los cuales habían aprendido el otro procedimiento, utilizaban mayoritariamente el comportamiento aprendido de su hembra dominante (Whiten et al. 2005).



**Fig. 24.** Este experimento aparentemente logró demostrar que la capacidad de aprender nuevos comportamientos existe durante toda la vida de los chimpancés.

Este experimento demostró que los chimpancés transmitían su cultura (los comportamientos y procedimientos que utilizan para hacer cosas) a los miembros de su grupo y también demostró, contrariamente a lo hallado en las investigaciones de campo, que el aprendizaje social de comportamientos no se circunscribe a la etapa de vida juvenil de los chimpancés, sino que ocurre durante toda ella. Esto quiere decir que, contrariamente a lo que propone la hipótesis que sostenemos en este artículo, este experimento podría haber demostrado que las estructuras cognitivas funcionan durante toda la vida de los chimpancés. ¿Pueden realmente esta variedad de estudios aportar datos fidedignos acerca del desarrollo ontogénico de las estructuras cognitivas?

La participación de la memoria de trabajo pudiera ser la clave para entender lo que sucedió en este experimento

Primero que nada analicemos detenidamente el experimento realizado en el Yerkes National Primates Reserch Center de Atlanta. Una de las dos pruebas consistía en levantar con un palito una argolla para obtener la recompensa. El aprendiz ve como el modelo (el investigador en un primer momento y la hembra dominante después) ha ejecutado la acción de levantar la argolla con el palito (imagen causa) y obtenido la recompensa (imagen consecuencia). Se trata de comer, así que lo primero que sucede en el cerebro de chimpancé aprendiz es un poderosísimo estado emocional que facilitará el

aprendizaje. Después de esto entra en acción la memoria de trabajo o memoria a corto plazo.

Nota. Tetsuro Matsusawa (2007) del instituto de investigación sobre primates de la universidad de Kioto demostró que los chimpancés disponen de una, comparada con la nuestra, portentosa memoria de trabajo en imágenes. Su chimpancé llamado Ayumu logró recordar hasta 19 números. El destacado científico japonés explica que para los primates, que no tienen la posibilidad comprender las cosas explicándose su por qué, la memoria de trabajo (memoria a corto plazo) es fundamental en sus vidas diarias.

La memoria de trabajo mantiene encendida en la mente del quien aprende durante un brevísimo lapso de tiempo imágenes procedentes de los diferentes sentidos de la percepción, en este caso, se mantendría en la mente la secuencia de imágenes que muestran al modelo ejecutando el procedimiento de meter el palito en la argolla y tirar hacia arriba. Este tiempo es el suficiente para que el mecanismo de Cognición Encarnada rebusque en nuestros archivos motores y extraiga el procedimiento motor que mejor se ajuste a las demandas de la nueva tarea. Una vez que se acopla el procedimiento motor a la secuencia visual rectora, como anteriormente explicamos, se puede comenzar a ejecutar la acción. Aquí entra en acción el comportamiento Nutrición que activa la sensación de necesidad de ejecutar la acción para obtener la recompensa.

Una vez que el aprendiz lo intenta, comienzan a formarse en su corteza somática las imágenes propioceptivas del movimiento de las diferentes partes del cuerpo durante la ejecución de la acción. Estas se incorporan a la secuencia rectora (al conocimiento) y de esta manera concluye la primera fase del proceso de construcción de un nuevo comportamiento. De más está decir que la conexión de esta secuencia rectora (conocimiento) con el comportamiento base Nutrición es lo que la convierte en el comportamiento complementario que creará en el aprendiz la necesidad de meter el palo en la argolla y de tirar hacia arriba.

Solo nos queda agregar que estos chimpancés regularmente participan en multitud de experimento lo que hace que presumiblemente dispongan de un importante arsenal de comportamientos-procedimientos destinado a la manipulación de palos por lo que no es muy desacertado suponer que en el momento en el que participaron en este estudio ya disponían del comportamiento-procedimiento necesario para aprender lo que se exigía para obtener la recompensa.

Concluyendo, como acabamos de observar se ha producido el aprendizaje de un nuevo comportamiento sin que tengan que participar las estructuras cognitivas gracias a la intervención de la memoria de trabajo. Así que es imposible afirmar que en este experimento se produjo

aprendizaje voluntario, aprendizaje con la participación de las estructuras cognitivas. Por lo que en ningún modo es una evidencia de que los chimpancés adultos disponen de motores de búsqueda 2 en funcionamiento.

Ahora profundizaremos en el aprendizaje voluntario y en el aprendizaje involuntario.

### **Ejemplos de aprendizaje voluntario y de aprendizaje involuntario**

*Ejemplos de conocimientos-comportamientos que pudieron confeccionarse mediante el trabajo de las estructuras cognitivas (los motores de búsqueda 2). Aprendizaje Voluntario*

#### **Osos expertos en mecánica**

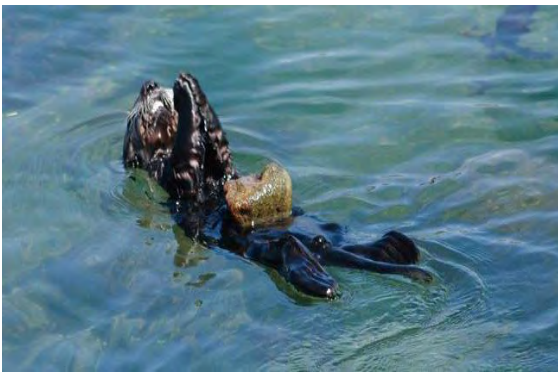
Los osos de los parques naturales de Norteamérica han descubierto (predeciblemente por mecanismos de ensayo-error el sujeto descubridor y por copia los demás) que si saltan repetidamente con fuerza sobre el techo de los coches de cierta marca (imagen causa) se abren todas las puertas quedando a su merced toda la comida que acarrear consigo los infortunados excursionistas (imagen consecuencia) (De Waal 2015). Aquí el nuevo conocimiento, como es lógico, se anexa al comportamiento base Nutrición y así obtiene el acceso a los sistemas Emocional y Motivacional y al mecanismo de Castigo y Recompensa. Este acceso es lo que le permite convertirse en un comportamiento complementario del comportamiento base Nutrición, que es capaz de hacer que el oso del que forma parte sienta necesidad de saltar sobre los autos de esa marca, y que experimente un poderoso premio en forma de satisfacción y bienestar cuando logra abrir el coche.



**Fig. 25.** Los osos negros que viven en el Parque Nacional Yosemite abren determinados coches (imagen consecuencia) saltando sobre ellos (imagen causa).

### Nutrias aficionadas al marisco

Las nutrias marinas emplean piedras que colocan sobre sus barrigas para golpear conchas de moluscos con la finalidad de abrirlas. Ello nos rebela que disponen el conocimiento en forma de implicación causal de cadena corta que, cuando se enciende en sus mentes, les permite ver que golpeando repetidamente un molusco sobre una piedra (imagen causa), terminará abriéndose (imagen consecuencia). Esta información de referencia integrada al comportamiento base Nutrición se convierte en el comportamiento complementario que les hace colocarse una piedra sobre la barriga y golpear los moluscos sobre ella.



**Fig. 26.** Las nutrias marinas han descubierto que golpeando las conchas de los moluscos sobre una piedra que colocan encima de sus barrigas (imagen causa) las conchas se abren y pueden acceder al nutritivo alimento (imagen consecuencia).

*Ejemplos de comportamientos que pudieron ser aprendidos por aprendizaje involuntario (sin la participación de las estructuras mnésicas)*

Antes de enfrentarnos a los ejemplos de aprendizaje involuntario tengamos en cuenta el hecho de que es muy difícil asegurar que un aprendizaje (la formación de un nuevo conocimiento-comportamiento complementario) ha sido involuntario debido a que los sujetos con corteza cerebral, predeciblemente, disponen de estructuras cognitivas activas desde que nacen hasta un poco después de que son abandonados por sus progenitores. Por esta razón se hace necesario suponer que cuando abandonan la protección de sus padres cuentan, en la sección que se encarga de la función ejecutiva de su corteza prefrontal, con todo el arsenal de comportamientos útiles que emplea y transmite su comunidad para enfrentarse a los retos de la supervivencia. Ello no descarta la posibilidad de que algún joven miembro del grupo descubra un nuevo comportamiento complementario y que este pueda ser copiado por un adulto que ya no dispone de sus estructuras cognitivas funcionando, gracias a la memoria de trabajo, como

anteriormente explicamos. Pero estos casos en los que sujetos adultos copian de modelos nuevos comportamientos se produce mayoritariamente en el marco de estudios de laboratorio con primates debido a que estos sujetos cuentan con un arsenal de comportamientos (resultado de sus múltiples participaciones en experimentos y estudios) muy superior al que normalmente disponen de los primates en su hábitat natural.

### Ejemplo real y claro de aprendizaje involuntario

Como ya mencionamos, Pier Francesco Ferrari se hallaba trabajando con macacos que habían participado en muchos otros experimentos con anterioridad, probablemente algunos de ellos desde muy temprana edad se habían ido familiarizando con muchos de los estudios que se realizaban y con los procedimientos empleados durante las investigaciones. Hasta el instante que intentamos describir jamás, en 10 años de investigación con neuronas espejo, se había podido detectar que estas células se activaran cuando el individuo observaba a un investigador usando una herramienta para manipular una pieza de fruta. De aquí que los científicos se quedaran anonadados y estupefactos cuando se descubrió actividad en una neurona espejo en el instante en el que un macaco observaba a un investigador cogiendo una uva con unas pinzas. Después se comprobó que dichas neuronas espejo reaccionaban al uso de las pinzas y al uso de una vara con la que también se manipulaba la fruta (Iacoboni 2009). El hecho de que el macaco nunca intentase aprender a utilizar las pinzas para atrapar la fruta nos está diciendo que sus estructuras cognitivas, en el caso de que las tuviesen durante el proceso de aprendizaje, nunca entraron en funcionamiento, por lo tanto, por ello el hecho que su mecanismo de Cognición Encarnada adjudicase una secuencia motriz destinada a controlar el uso de las pinzas sin que participaran las estructuras cognitivas nos revela que este es un caso de aprendizaje involuntario.

Otro caso real de aprendizaje involuntario. La Madre de Imo copia el comportamiento de lavar los boniatos antes de comerlo inventado por su célebre hija

En el último espacio de este artículo nos referimos al informe de Masao Kaway sobre el proceso de transmisión y expansión del comportamiento de lavar en el mar los boniatos antes de comerlos desarrollado por la macaca japonesa Imo, por ello solo nos referiremos ahora a lo que nos interesa en este momento.

En los primeros 5 años de transmisión del comportamiento solo dos adultos fueron capaces de copiarlo. La madre de Imo y la madre de una compañera de juegos (Kaway 1965). Como veremos al final del artículo, este estudio nos

sirve para ilustrar el hecho de que es posible que las estructuras que nos permiten hacer aprendizaje voluntario (los motores de búsqueda 2) desaparecen de la corteza prefrontal de todos los primates, excepto nosotros, cuando estos se convierten en adultos independientes. Así que es predecible que las dos macacas adultas copiaran el comportamiento sin disponer de estructuras cognitivas. Ello, como hemos explicado pudo suceder porque el aprendizaje se produce en el marco de un fuerte estado emocional, porque la secuencia motriz que se emplea es muy parecida a la que se utiliza para otra tarea y porque la memoria de trabajo (memoria a corto plazo) mantiene la secuencia visual rectora (la imagen del modelo ejecutando la acción) encendida en la mente el tiempo necesario para que el mecanismo de Cognición Encarnada agregue la secuencia motriz.

También en el mismo acápite explicaremos el estudio realizado Por Klaus Suberhüler de la Universidad de San Andrews, Escocia. En el podremos observar como sujetos adultos copian un comportamiento desarrollado por un miembro joven da la comunidad gracias a las tres mismas razones que acabamos de mencionar.

Ejemplo hipotético, los macacos japoneses y el aquebi

Menzel (1991) realizó interesantes experimentos con el propósito de investigar si los macacos japoneses (*Macaca fuscata*) utilizaban mapas mentales. Situaba en el camino por el que usualmente pasaban una fruta de akebi, uno de los alimentos preferidos de estos monos. Cuando lo encontraban su reacción típica era mirar hacia las ramas que tenían encima o a lo alto de una colina adyacente, donde había otros árboles productores de este fruto. A veces parecía que realizaban una minuciosa inspección ocular de esta zona. Cuando al final abandonaban el área donde habían encontrado esta fruta iban a visitar todos los árboles que la producían, aunque en aquel momento los frutos no estaban maduros y en ocasiones tenían que desviarse radicalmente de la ruta que habían seguido antes del hallazgo. Incluso, a pesar de que veían que los frutos estaban verdes, los probaron (Menzel 1991). Para J.C. Gómez (2007), el comportamiento de los macacos japoneses en este experimento es consecuencia de la influencia de conocimientos, adquiridos a través de la experiencia, que en forma de representaciones (imágenes visuales, auditivas, táctiles y odoríficas) se encendían en sus mentes. ¿En qué consiste este conocimiento y cómo pudo ser adquirido? Lo normal es que este conocimiento se forme de manera voluntaria en la mente de los macacos gracias al trabajo de las estructuras cognitivas durante la primera etapa de sus vidas, pero quizás pudiera darse el caso de que un sujeto aprendiese esto, muy excepcio-

nalmente, de manera involuntaria (sin la participación de las estructuras cognitivas). Veamos.

Cuando los frutos están en su sazón caen al suelo así que durante cada temporada los macacos encuentran, en el marco del poderoso estado emocional que se genera en un mono cuando encuentra comida y come, frutos en el suelo al mismo tiempo que el árbol que los produce está rebosante de ellos. Esta circunstancia hace que se pueda producir de manera automática (sin la intervención de las estructuras cognitivas) la asociación entre la red que fabrica la imagen de frutos en el suelo (imagen consecuencia) con la red que confecciona la imagen de frutos maduros en el árbol (imagen causa). La existencia de esta asociación causal (implicación causal) de imágenes es el conocimiento que le dice a un macaco (cuando la implicación causal proyecta en su mente las dos secuencias de imágenes) que ha visto un fruto maduro en el suelo que en el árbol hay más.

Este conocimiento, como hemos explicado, se interconecta al comportamiento base Nutrición y así se convierte en el comportamiento capaz de hacer que el macaco sienta necesidad de buscar frutos en la copa de los árboles de Akebi. El poder de este conocimiento convertido en comportamiento a la hora de controlar la conducta del sujeto es de tal magnitud que los macacos, a pesar de que están viendo que los frutos que hay en el árbol están pequeños y verdes, aun así, los prueban, es decir, el conocimiento-comportamiento tiene más potestad que la información visual que se está percibiendo a la hora de controlar la conducta del sujeto. Este importantísimo conocimiento permite a los macacos japoneses saber (predecir), sin tener que ver, que si hay frutos en el suelo habrá frutos en el árbol y viceversa, que si hay frutos en el árbol habrá frutos en el suelo. Y lo que es más importante, una vez convertido en comportamiento les obligará y alentará a actuar en consecuencia.



**Fig. 27.** Los macacos japoneses disponen de una implicación causal de cadena corta (conocimiento) que les hace saber que cuando hay frutos de akebi en el suelo (imagen consecuencia) también los hay en el árbol (imagen causa).

### *Ventajas de la posibilidad de realizar aprendizaje voluntario*

El hecho de disponer estructuras cognitivas (motores de búsqueda 2) funcionando ofrece la posibilidad de buscar y encender en la mente cuantas veces sea necesario un par de imágenes (la imagen causa y la imagen consecuencia) hasta que se consolide la asociación entre ellas. Esto hace posible que el aprendizaje suceda tan rápido como lo desee y o lo necesite el sujeto. Por el contrario, la asociación involuntaria entre las dos imágenes que compondrán un conocimiento requiere que el azar fortuito que conduce la vida del animal haga que presencie muchas veces el mismo acontecimiento (por ejemplo, el caso de los leones y la peligrosidad de ir a matar a un búfalo antes de inmovilizarlo). Esto hace que la posibilidad de confeccionar una nueva asociación de imágenes (un nuevo conocimiento) voluntariamente suceda mucho más rápido e infinitamente con mucha más frecuencia que la posibilidad de que ocurra un aprendizaje involuntario. Tanto es así que nos atreveríamos a sugerir que es posible que donde más casos de aprendizaje involuntario ocurren es en el marco de los experimentos de laboratorio debido a que los sujetos que participan en estos estudios presencian los acontecimientos que deben aprender con muchísima más frecuencia de lo que de manera natural los presenciarían en el hábitat salvaje. Esta es quizás la razón principal por la que sujetos adultos, sin estructuras cognitivas funcionando, logran aprender nuevos comportamientos. Por último nos gustaría exponer que la principal ventaja que ofrece la posibilidad de realizar aprendizaje voluntario, como intentaremos argumentar en los siguientes espacios de este artículo, es que ello es lo único que permite desarrollar nuevos comportamientos-procedimientos. Y si no se pueden crear nuevos comportamientos-procedimientos no existiríamos ni las aves ni los mamíferos debido a que la inmensa mayoría de comportamientos complementarios que empleamos para vivir no son de origen genético.

Nota. Los conocimientos obtenidos a través de implicaciones causales de cadena corta que acabamos de describir, tanto los configurados por aprendizaje involuntario como los configurados a través del funcionamiento de las estructuras mnésicas, son de primer grado de complejidad (las más simples) y algunos de ellos nos permiten conocer las intenciones de los otros (el caso de Belle y Rock que describió Menzel). ¿Esto es teoría de la mente?, desde luego que no, pero este es exactamente el mismo mecanismo que utilizamos nosotros para resolver esta variedad de problemas (incluidos los relacionados con descubrir las intenciones de los otros) y para diseñar los comportamientos complementarios

que se encargan de cumplir con algunas tareas vitales, especialmente las sociales.

### **Una capacidad cognitiva mucho más sofisticada**

#### *Las implicaciones causales de cadena corta de primer y segundo grado de complejidad. La Matriz Lógico Comparativa*

Algo muy similar a las historias que acabamos de disfrutar sucede con los arrendajos (*Garrulus glandarius*), pero como veremos, las implicaciones causales que estos son capaces de elaborar, los conocimientos, son de mucha mayor complejidad. Estas aves, como las urracas *pica pica* y el resto de los córvidos esconden la comida de los otros miembros de su especie, algunos esperan a que se vayan todos para desenterrar la comida que acaban de ocultar para llevarla a otro escondrijo. Una investigación de Nathan Emery y Nick Clayton (2001) en la Universidad de Cambridge puso de manifiesto que los sujetos que anteriormente habían robado la comida de los otros eran quienes más se ocupaban de cerciorarse de que nadie viera donde escondían su alimento. En apariencia se trata de una implicación causal de gran simplicidad como las que acabamos de analizar: si otro miembro de mi grupo-especie ve donde he enterrado mi comida (imagen causa) no la volveré a ver (imagen consecuencia). Entonces, donde estriba la dificultad en este caso, pues en el hecho de que el arrendajo casi nunca ve a un miembro de su especie robando su comida porque los hurtos normalmente suceden después de que el propietario del alimento ha abandonado la zona. Así que para encontrar la causa de la desaparición de los víveres y en consecuencia poder tomar las medidas pertinentes para que eso no vuelva a suceder, tiene que presuponer que: si él se la ha robado a otro (imagen causa), otro cualquiera puede querer robársela a él (imagen consecuencia). Y esto es realmente muy complejo porque aquí sí hay teoría de la mente.



**Fig. 28.** Los arrendajos con experiencia en el robo de comida vuelven a esconder su comida (imagen consecuencia) si creen que otro arrendajo ha visto donde la han escondido (imagen causa). Aparentemente se trata de un conocimiento sencillo, pero nada más lejos de la realidad.

La construcción de las implicaciones causales de cadena corta de grado de complejidad 1

¿Cómo lo hace su capacidad cognitiva? Tengamos en cuenta que si un arrendajo puede robar comida es porque otro sujeto no ha descubierto la causa de su desaparición, es decir, no se ha asegurado de que ningún otro miembro de su especie no esté presente en el momento en el que entierra sus alimentos. Así que para todos los jóvenes inexpertos siempre hay una primera ocasión en la que al llegar con hambre al lugar en el que enterró los víveres y no encontrarlos, su cerebro se pregunte ¿Por qué no están? Aquí entra en juego el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Corta SPICCC (uno de nuestros motores de búsqueda 2), la mitad de nuestra capacidad cognitiva, y comienza a hacer su trabajo.

Implicaciones causales de cadena corta de grado de complejidad 1

¿Cómo sucede el proceso de construcción de la información de referencia? Normalmente las urracas, cuervos y arrendajos pelean entre ellas por la comida. A partir de aquí el SPICCC confeccionaría la siguiente secuencia de implicaciones causales (conocimientos) de cadena corta de grado de complejidad 1.

1- Si quiero que otro no me quite la comida (imagen consecuencia) tengo que pelear con él (imagen causa). Esta primera implicación causal de complejidad 1 le hace saber a un arrendajo que tiene comida que cuando otro miembro de su especie se le acerca viene a por ella (imagen consecuencia). Este conocimiento, información de referencia, se conecta al comportamiento Nutrición (su objetivo es que el sujeto pueda conservar el alimento) y al comportamiento Autoprotección (en este caso a la respuesta Enfado Ataque de la amígdala) para que está cree en el sujeto la necesidad de luchar por el alimento y genere la sensación de furia que le permitirá desactivar (inhibir) al resto de los comportamientos que lo integran, para así hacerse con el mando de los procedimientos motrices de manera de poder emplearlos para repeler con violencia el intento de robo. Además de esta, el SPICCC de los sujetos que han robado con anterioridad la comida a otros confecciona otra serie de implicaciones causales de complejidad 1.

2-Para obtener la comida de otro (imagen consecuencia) tengo que pelear con él (imagen causa).

3- Pero pelear nos buena idea (imagen causa) porque puedo salir mal parado, como ya me ha sucedido (imagen consecuencia).

4- Para obtener la comida de otro sin tener que pelear con él (imagen consecuencia) debo cogerla cuando no esté para defender su tesoro (imagen causa).

5- Pero para poder coger su comida (imagen consecuencia) primero tengo que saber donde lo esconde (imagen causa). Si quiero saber dónde la ha escondido (imagen consecuencia) tengo que vigilar (estar presente) hasta que entierre el alimento (imagen causa).

Quienes no han hurtado comida con anterioridad no podrán disponer de este último valiosísimo racimo de conocimientos que son la base, como a continuación veremos, del conocimiento que le dice a un arrendajo que debe vigilar que no haya otro miembro de su especie por los alrededores antes de esconder su comida, por lo que nunca, como detectó Nathan Emery, vigilan a los otros miembros de su especie cuando entierran el alimento.

Implicaciones causales de cadena corta de grado de complejidad 2

Como acabamos de ver, en un primer momento el SPICCC crea una gran cantidad de información causal, conocimientos, en forma de imágenes pero todo esto requiere de mucho gasto energético para proyectarlo en la mente así que el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Corta sintetiza las cuatro últimas implicaciones causales creando a partir de ellas una única implicación causal de grado de complejidad 2: para apropiarme de la comida de otro sin tener que pelear (imagen consecuencia) tengo que vigilar donde la esconde para ir a por ella cuando no esté (imagen causa). Quedando solo dos implicaciones causales, la que acabamos de mencionar y la número 1: la que le dice al sujeto, que si tiene comida y ve a otro miembro de su grupo acercársele (imagen causa), es que este individuo viene a por su alimento (imagen consecuencia). Y aquí termina, en este caso, todo lo que puede hacer por sí solo el SPICCC para tratar de encontrar la respuesta al importantísimo enigma de la vida de un arrendajo: ¿por qué no está mi comida donde la dejé? A partir de aquí el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Corta necesitará de la ayuda de la Matriz Lógico Comparativa para poder encontrar la solución. Así que interrumpiremos el desarrollo de este ejemplo de los arrendajos para explicar el funcionamiento de dicha matriz.

### La Matriz Lógico Comparativa

Quizás nos parezca un poco atrevido hablar de capacidad lógica con la mira puesta en las aves y mamíferos en general, pero como veremos en este espacio, la capacidad lógica pudiera ser consecuencia del funcionamiento de mecanismos muy elementales, de aquí que pueda estar presentes en individuos que consideramos menos evolucionados desde el punto de vista cognitivo. El psicólogo neopiagetiano Jonas Langer divide la cognición en tres grandes dominios, físico,

lógico y matemático presuponiendo que el cerebro de todos los primates recién nacidos contiene las mismas nociones básicas correspondientes al ámbito físico, lógico y matemático, que en su estado inicial serían las mismas para todas las especies (Langer 2000a). Esto quiere decir que todos los primates disponemos al nacer la capacidad para elaborar conocimientos físicos, lógicos y matemáticos gracias a esta predisposición inicial. Hoy casi nadie duda que existe una matriz gramatical para todo el género humano. Este sistema neuronal organiza en cualquier idioma la estructura lógica de las imágenes que componen una frase o un pensamiento de manera que la información que transmitimos mediante el lenguaje pueda ser interpretada correctamente por otro sujeto gracias a que cuando llega a él, el discurso de las imágenes se superpone en una matriz gramatical similar a la nuestra. También disponemos de una matriz de cálculo, quienes no la poseen son por completo incapaces de realizar la operación matemática más simple.

#### La matriz de cálculo

Hauser y Carey han descubierto que los macacos rhesus son capaces de ejecutar operaciones simples de cálculo. Se coloca a la vista de los monos tres piezas de fruta detrás de la pantalla A y dos piezas similares detrás de la pantalla B, siempre escogen la comida que está detrás de la pantalla A. Pero cuando los investigadores extraen, a la vista de los macacos, comida de detrás de alguna de las dos pantallas siempre escogen la pantalla que tiene más comida. Esta capacidad existe solo para conjuntos de hasta tres elementos (Hauser 2000).

#### Surgimiento de la matriz de cálculo

Pero la matriz de cálculo pudiera ser una herencia recibida, al menos, de los anfibios Uller y colaboradores (2003) encontraron que las salamandras prefieren un tubo que contiene tres moscas, su alimento preferido a otro que contiene una o dos moscas. Sin embargo, al igual que los primates, son incapaces de detectar la diferencia que hay entre tres y cuatro moscas.

#### *El descubrimiento de la Matriz Lógico Comparativa*

Desde Aristóteles, pasando por Santo Tomás, Bacon, Descartes, Leibniz, Hume, Kant, Frege, hasta Rusell, los filósofos que dedicaron su obra o parte de ella a la lógica y a la epistemología (el estudio acerca de cómo sabemos lo que sabemos) sin ser conscientes de lo que hacían, fueron explicando los diferentes procesos cognitivos a través de los cuales nuestro cerebro obtiene los conocimientos. Creo que dichos procesos gnósticos no son solo obra de la sucesiva

acumulación pasiva de conocimientos que sucede a lo largo de la vida, sino que son consecuencia del funcionamiento del sistema cognitivo que poseemos los seres con corteza cerebral y parte de dicho mecanismo neural estaría conformado por la Matriz Lógico Comparativa.



**Fig. 29.** Los filósofos que dedicaron parte de su obra a la epistemología, sin saberlo, fueron explicándonos como funciona la matriz lógico comparativa.

Describámosla. Imaginemos una bandeja de comedor en la que hay un hueco para la carne, otro para el arroz, otro para los frijoles, otro para los cubiertos, otro para el postre, otro para la sal, otro para el pan y otro para el vaso de agua. En la matriz Lógico Comparativa cada hueco (sección) correspondería a un tipo determinado de relación que se puede establecer entre los distintos objetos, asuntos, fenómenos, seres de la realidad objetiva y nosotros. Así habría un hueco (sección) para la negación, otro para la conjunción, otro para la disyunción, otro para la relación condicional, otro para la relación bicondicional y un último para la disyunción exclusiva. Como explicaremos más adelante, la Matriz Lógico Comparativa, presumiblemente, se opera de dos formas, veamos primero la manera automática. El tipo de imágenes sensoriales que predominan en el sujeto (según su especie y estado de los diferentes sistemas de percepción), vista u olfato o tacto, procedentes de los acontecimientos diarios se puede asentar directamente en el hueco de la matriz que se encarga del mismo tipo de relación que existe entre ellas y nosotros. O también estas imágenes vivenciales pueden extraer por sistema de azas antiguas memorias que también se pueden superponer en el agujero pertinente (el que se dedica al mismo tipo de relación que existe entre las imágenes y nosotros) de la Matriz, solas, o conjuntamente con las vivencias que las extrajeron. En la vía no automática (voluntaria) sucede exactamente lo mismo, pero a través de la intervención de las estructuras cognitivas. El Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Corta y el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Larga, nuestros motores de búsqueda 2, cuando pensamos, buscan a voluntad entre los diferentes archivos de memorias y extraen de ellos las informaciones que precisamos para elaborar

nuevos conocimientos, acto seguido las proyectan en la mente para que puedan ser empleadas para su trabajo por el resto de estructuras cognitivas. Estas informaciones, memorias y conocimientos encendidos en la mente por las estructuras cognitivas (SPICCC y SPICCL) se superpondrían de manera automática en la sección (hueco) de la Matriz Lógico Comparativa que se encarga del mismo tipo de relación que existe entre los fenómenos, asuntos y hechos (que abordan los conocimientos extraídos) y nosotros.

La diferencia entre el proceso automático y el cognitivo es que el automático solo ocurre una vez, mientras que el cognitivo ocurre cada vez que pensamos, cada vez que utilizamos el SPICCC y el SPICCL (los motores de búsqueda 2). En las personas que no podemos parar de pensar nunca este proceso está sucediendo siempre, de aquí que siempre existe la posibilidad de confeccionar un nuevo conocimiento.

La Matriz Lógico Comparativa. Sus diferentes secciones

Ahora explicaremos de manera detallada la estructura de la Matriz Lógico Comparativa de manera que podamos observar las diferentes secciones que la configuran. Como mencionamos, cada una de estas secciones corresponde a un determinado tipo de relación que se establece entre los fenómenos, asuntos, objetos, cosas, individuos de la realidad objetiva, de la realidad subjetiva y nosotros. Esta explicación nos ayudará a entender como el funcionamiento de la Matriz Lógico Comparativa afecta la vida cotidiana de los sujetos con corteza cerebral. Utilizaremos, como no puede ser de otra manera, nuestro lenguaje para describirlas, aunque debemos tener presente que se trata de imágenes procedentes de los diferentes sentidos. Nombraremos los distintos fenómenos con letras a partir de la (p).

-Un asunto **p** puede no ser. **Negación**. Algo que no es verdad, que es falso. En la oscuridad podemos creer que detrás nuestra viene un depredador pero sin embargo puede que sea otro de nuestra especie que también se ha asustado.

-Dos asuntos pueden ir juntos. **Conjunción**. Pueden estar unidos por la letra (**y**) o por las frases a la vez, pero, también, sin embargo, además, no obstante. (Recordemos que utilizamos el lenguaje para describir como funciona la realidad). Llueve, además hay frío. Llevo rato huyendo, no obstante, no estoy cansado. Aquí se establece la relación comparativa entre dos o más objetos o fenómenos: **p=q, p>q, p<q**.

-Dos fenómenos pueden no ir juntos, es decir ser el uno **o** el otro. **Disyunción**. Este árbol o el otro. Esta chica o la otra.

-Entre dos fenómenos puede establecerse una condición. **Condicional**. Si **p**, entonces **q**. También esta relación la definimos con las palabras: porque, puesto que, cuando, cada vez que. Si el cielo está gris, entonces lloverá. Si la chica me acepta, entonces copularé con ella. Si corro bastante, entonces escaparé del depredador. Aquí es donde hace su función la matriz comparativa.

Si **p>q** entonces **q<p**. Si **p=q** entonces **q=p**. Si **p=q** y **q = r** entonces **p=r**.

-Entre dos asuntos puede establecerse una relación de condición doble. **Bicondicional**. Esta la definimos con la expresión: **p** solo si **q**. Y también con los términos: cuando y solo cuando, entonces y solamente entonces. Solo cuando no hay ningún depredador bajo del árbol a coger el fruto.

-Entre dos o más fenómenos puede establecerse una exclusión. **Disyunción Exclusiva**. Esta se expresa en el término: **o p o q**. O voy a cazar o me guarezco del frío.

CONECTIVOS LÓGICOS	SÍMBOLO	QUIERE DECIR	EJEMPLO CON LENGUAJE ORDINARIO	EJEMPLO CON LENGUAJE SIMBÓLICO
CONECTIVO				
NEGACIÓN	~	No, nunca, no es cierto que, no ocurre que, no es verdad que, ni, tampoco, etc.	Fido no es un gato.	~P
CONJUNCIÓN	∧	Y, además, pero, sin embargo, aunque, e a la vez, etc.	Carlos y Luis son buenos amigos.	P ∧ Q
DISYUNCIÓN	∨	O, o bien, u.	Iré al cine o al teatro.	P ∨ Q
CONDICIONAL	→	Si... entonces, suponiendo que, a condición de, es condición suficiente para, es condición necesaria para, cuando, entonces.	Si estudio mucho, entonces aprobaré con diez.	P → Q
BICONDICIONAL	↔	Si, y sólo si; cuando, y sólo cuando.	Probaré el postre si, y sólo si, es de limón.	P ↔ Q

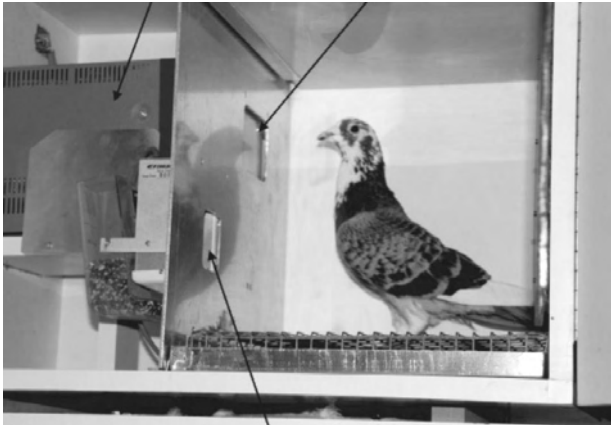
**Fig. 30.** La Matriz lógico comparativa se ocupa de las relaciones que se establecen entre las cosas objetos, sujetos, fenómenos y asuntos de la realidad objetiva-subjetiva y nosotros.

La matriz Lógico Comparativa permite a los sujetos realizar una valoración más acertada del entorno al que tienen que enfrentarse. Por ejemplo, permite que alguien seleccione la fruta más grande, dónde se encuentra la mayor cantidad de alimento, el camino más corto al refugio o que se dé cuenta de cuál, entre dos, es el rival más asequible. Además, su funcionamiento como ilustraremos a continuación, nos permite predecir una relación causal, es decir, prever el efecto de un fenómeno antes de percibirlo por completo. A continuación expondremos otras importantes ventajas que ofrece el hecho de poseer matriz Lógico Comparativa.



### ¿Quiénes tienen Matriz Lógico Comparativa?

En 1995 científicos de la Universidad de Keio enseñaron a palomas a discriminar entre Monet y Picasso empleando recompensas. Después de un par de semanas las palomas también habían logrado generalizar el aprendizaje discriminando entre los impresionistas y los cubistas (Watanabe et al. 1995) Ello pudiera ser una prueba que cerebros que creemos tan elementales como lo es el de las palomas ya cuentan con una Matriz Lógico Comparativa. Veamos.



**Fig. 31.** Las palomas aprendieron a diferenciar un Monet de un Picasso, predeciblemente, gracias al trabajo que realiza su matriz Lógico Comparativa.

*Funcionamiento automático de la Matriz Lógico Comparativa. Ello quizás pudiera ser una de las importantes prestaciones que ofrece el disponer de una Matriz Lógico Comparativa*

En el marco del experimento que acabamos de mencionar las palomas recibían comida cuando picaban la imagen de un cuadro de Picasso en una pantalla y no cuando picaban la de un cuadro de Monet. Ello condujo a que en sus cerebros se desarrollase de manera automática (sin que fuese necesario que interviniesen las estructuras cognitivas) la siguiente implicación causal de cadena corta.

Nota. Recordemos que en el caso de los experimentos realizados en laboratorios puede producirse aprendizaje involuntario debido a la incesante repetición de las condiciones que terminarán convirtiéndose en conocimientos.

Veremos la implicación causal ya superpuesta en la sección condicional de la Matriz Lógico Comparativa.

Si pico el cuadro de Picasso (imagen causa) **p**, **entonces** se obtiene comida (imagen consecuencia) **q**. Si pico un cuadro de Monet (imagen causa) **r**, **entonces** no se obtiene comida (imagen consecuencia) **no q**.

**Si p, entonces q**

**Si r, entonces no q**

Este conocimiento se convirtió en la información de referencia que activaba su comportamiento Nutrición para que este provocase en el sujeto sensación de necesidad de picar la pantalla cuando aparecía un cuadro de Picasso y no crease sensación de necesidad de picar la pantalla cuando aparecía un cuadro de Monet. Ahora, lo interesante del caso es determinar: ¿cómo se produjo la generalización que les permitía picar la pantalla cuando aparecía un cuadro cubista y no hacerlo cuando aparecía un cuadro impresionista? Las implicaciones causales anteriores, encendidas en la mente de la paloma por su sistema de percepción (las palomas estuvieron varias semanas sometidas a la prueba, por lo que estas imágenes producto de sus vivencias, se encendían cientos de veces en sus mentes por medio del sistema de percepción) se colocaron otra vez de manera automática en la sección condicional de la Matriz Lógico Comparativa. Y probablemente sucedió lo que a continuación describiré

Veremos la implicación causal ya superpuesta en la Matriz Lógico Comparativa.

Si pico un cuadro de Picasso **p** (imagen causa), **entonces** recibo comida (imagen consecuencia) **q**.

Si **p** (Picasso) = **s** (cubistas), **entonces** picar un cuadro cubista **s** (imagen causa) da comida (imagen consecuencia) **q**.

Si pico un cuadro de Monet **r** (imagen causa), **entonces** no recibo comida **no q** (imagen consecuencia).

Si (Monet) **r**= **t** (impresionistas), **entonces** picar un cuadro impresionista **t** (imagen causa) no da comida (imagen consecuencia) **no q**.

**Si p=s y si p, entonces q. Entonces, si s, entonces q**

**Si r=t y si r, entonces no q. Entonces, si t, entonces no q**

Estas últimas son las dos implicaciones causales de cadena corta (conocimientos) que obtuvieron las palomas después de que la información de referencia que disponían (Picasso **p** da comida **q** y Monet **r** no da comida **no q**) se superpusiera de manera automática en la sección condicional de la Matriz Lógico Comparativa. Estas dos implicaciones causales de cadena corta se anexaron al comportamiento Nutrición de las aves convirtiéndose así en la información de referencia que creaba en ellas la necesidad de picar la pantalla cuando aparecía un cuadro cubista y que no creaba necesidad de picar la pantalla cuando aparecía un cuadro impresionista. Como se puede observar, aquí se ha producido un proceso de generalización a partir de un solo conocimiento que hizo que las palomas fueran capaces de predecir que cuadros les darían comida sin haberlos visto nunca antes. Esta es la otra extraordinaria, inmensa, colosal ventaja que ofrece a sus portadores el hecho de poder disponer de una Matriz Lógico Comparativa.

*Conveniencia de un mecanismo que permita elaborar información de referencia de manera voluntaria*

Surgimiento de la capacidad de pensar

Pero la forma involuntaria de crear esta compleja variedad de conocimiento por intermedio de la Matriz Lógico Comparativa tiene un gran inconveniente, para que una información se asiente en la sección pertinente de la Matriz Lógico Comparativa es preciso que se encienda muchas veces en la mente del sujeto. Las palomas tardaron casi una semana (Watanabe et al. 1995) en hacer la generalización a pesar de que estaban siendo sometidas a un experimento científico que hacía que la frecuencia con la que se encienden en sus mentes los mismos conocimientos (Picasso da comida Monet no) fuese infinitamente mayor a la frecuencia con la que un acontecimiento (en el marco de la vida salvaje) vuelve a suceder al mismo sujeto y por consiguiente se enciende en su mente otra vez por vía de la percepción. Así que, si la vida quería mejorar la posibilidad de que las aves y mamíferos construyeran nuevos conocimientos a partir de procesos lógicos, como la generalización que acabamos de ver, era preciso que apareciese por selección natural un mecanismo que pudiera ser accionado por la voluntad del sujeto y que fuese capaz de buscar en los diferentes archivos de la memoria las informaciones que se precisan para elaborar un nuevo conocimiento y que luego pudiera encenderlas en la mente tantas veces como fuera necesario hasta que dichos conocimientos encontraran su lugar en la Matriz Lógico Comparativa. En otras palabras, se hizo necesario que apareciese la capacidad de pensar, tenía que surgir un mecanismo, motor de búsqueda, que permitiera encontrar las informaciones que es necesario superponer en la matriz Lógico comparativa y que fuese capaz, una vez halladas, de encenderlas en la mente.

*La forma voluntaria de construir implicaciones causales utilizando la Matriz Lógico Comparativa*

Las estructuras cognitivas, el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Corta SPICCC y el Sistema Procesador de Implicaciones Causales de Cadena Larga SPICCL son un sistema de búsqueda que saca a voluntad, cuando pensamos, de las bibliotecas de la capacidad cognitiva y del resto de archivos de nuestras memorias información general y conocimientos, en forma de implicaciones causales de cadena corta y o de cadena larga y las encienden en la mente, esto es lo que nos permite “ver” en imágenes (visuales o auditivas, según la persona) lo que estamos pensando.

Nota. En mi caso, al ser síndrome de Asperger, las primeras 5, 6 y hasta 10 veces, según la complejidad, que leo cualquier texto científico mi cerebro lo traduce a imágenes visuales porque soy por completo incapaz de entenderlo a partir de las imágenes auditivas que genera su lectura. Es por ello que, para mí, el leer es un proceso extremadamente lento, laborioso y agotador, circunstancia que lastró significativamente mi buen desenvolvimiento académico. Sin embargo, una vez que lo he entendido, lo puedo volver a leer y lo entiendo correctamente sin necesidad de traducirlo a imágenes visuales, me bastan para comprenderlo las imágenes auditivas que genera la lectura. Con los nuevos conocimientos que elabora mi cerebro sucede otro tanto de lo mismo, su construcción ocurre en imágenes visuales, pero una vez plasmados en un escrito, va disminuyendo paulatinamente la necesidad de traducirlos a imágenes visuales con cada vez que los vuelvo a leer. Por ejemplo, ahora que estoy revisando por trigésimo cuarta vez este acápite solo en aquellas partes que todavía no me han quedado claras o en las que sé que falta algo, se enciende la maquinaria pesada, el sistema que traduce a imágenes visuales lo que leo. Como acaba de suceder. Por el contrario, las personas con una capacidad cognitiva normal regularmente no necesitan traducir nada a imágenes visuales, sino que son capaces de entender perfectamente lo que se les dice y lo que leen a partir de las imágenes auditivas, por muy alto que sea el grado de complejidad de lo que intentan comprender.

Las imágenes que extraen y encienden en la mente nuestros motores de búsqueda 2 se superponen de manera automática, como anteriormente describimos, en la sección de la Matriz Lógico Comparativa que se ocupa del mismo tipo de relación que existe entre los asuntos y fenómenos de los que tratan dichas implicaciones causales y nosotros. Esto es un proceso que está sucediendo continuamente cada vez que pensamos, lo que significa que la posibilidad de crear nuevos conocimientos a partir de procesos cognitivos es sencillamente infinita, claro está, si se dispone del SPICCC y del SPICCL para buscar y extraer a voluntad información de los archivos de la memoria. Pero la posibilidad de contar con estas estructuras capaces de buscar, cuando pensamos, archivos de nuestras memorias y encenderlos en la mente, como expliqué en mi artículo Pérez (2010), es un privilegio del que probablemente solo disfruta nuestra especie durante toda la vida. Esta maravillosa aplicación nos permite construir información de referencia (la base de nuevos comportamientos) mediante procesos de razonamiento deductivo e inductivo. Ello es el soporte de toda la ciencia y tecnología que hemos sido capaces de crear. Ahora volvamos a los arrendajos y a su capacidad de elaborar conocimientos de altísima complejidad.

## **Volvemos a los arrendajos y a la confección voluntaria de implicaciones causales de cadena corta**

*Si el otro es igual a mí, entonces hará lo mismo que yo*

Habiendo argumentado con el ejemplo de las palomas que es muy probable que todas las aves y mamíferos cuenten con una Matriz Lógico Comparativa, nos toca ahora concluir con el estudio que estamos haciendo acerca de por qué los arrendajos que roban comida a otros arrendajos son quienes más vigilan que ningún otro vea donde esconden sus alimentos.

Recordemos que la implicación causal 1 le dice al arrendajo que los otros miembros de su especie **p** quieren su comida, es decir, tienen sus mismas intenciones, por lo que son similares a él **q**. Partiendo de este importantísimo conocimiento que le dice al SPICCC de un sujeto que los otros arrendajos, sus intenciones relacionadas con el alimento, son similares a las suyas propias **p=q**, esta estructura cognitiva solo tiene que encender en la mente muchas veces este conocimiento para que las imágenes correspondientes a los actores del drama se superpongan en la sección condicional de la Matriz Lógico Comparativa (**si p = q entonces q = p**) para solucionar el problema.

Veámoslo: si yo **p** quiero obtener la comida de otro **q** sin tener que pelear (imagen consecuencia) tengo **p** que velar para descubrir donde el otro **q** la esconde para ir a por ella cuando no esté (imagen causa). Matriz Lógico Comparativa: **si p = q entonces q = p. Entonces** si otro **q** quiere mi comida sin tener que pelear por ella (imagen consecuencia), me vigilará a mi **p** para ver donde la esconde para ir a por ella cuando yo no esté (imagen causa). El resultado de la superposición de la implicación causal de complejidad 2 (si yo quiero la comida de otro le vigilaré a ver donde la esconde) en la sección condicional de la matriz Lógico Comparativa es la siguiente implicación causal de teoría de la mente de grado de complejidad 1, o lo que es lo mismo que decir, el siguiente razonamiento de teoría de la mente de grado de complejidad 1. Si otro quiere mi comida (imagen consecuencia) me vigilará a ver donde la entierro (imagen causa). La posesión de este conocimiento garantiza que, cada vez que el sujeto esté escondiendo su comida se activará por coincidencia de la imagen del estímulo señal (él enterrando la comida) con la imagen causa de la información de referencia (él enterrando la comida) la implicación causal. La imagen causa activará la imagen consecuencia a la que está conectada y esta segunda se encenderá de inmediato en la mente del sujeto, quien podrá visualizar a otro individuo de su grupo vigilándole con la intención de robar su alimento. En otras palabras, este conocimiento se ha

convertido en una información de referencia que informaría al sujeto acerca de las intenciones de los otros.

*Esta implicación causal de teoría de la mente de grado de complejidad 1, el razonamiento, se convierte en un comportamiento*

El objetivo de este conocimiento no es solo alertar al sujeto de un posible robo, sino que ejecute las acciones necesarias para evitar la sustracción de su alimento. Por ello ahora veremos como dicho conocimiento se convierte en un comportamiento. Este valiosísimo conocimiento (si otro quiere mi comida me vigilará a ver donde la entierro) es la información de referencia que se conecta a su comportamiento Nutrición y a su comportamiento Autoprotección, en este caso al comportamiento Miedo-Huida de la amígdala, debido a que ambos comportamientos vitales la necesitan, para poder cumplir con su función, que el sujeto del que forman parte se alimente lo mejor que sea posible, cosa que no sucede cuando el arrendajo no se cerciora de que ningún otro vea donde entierra su alimento. Esta conexión con los comportamientos base mencionados es quien aporta la sensación de temor ante la posibilidad de perder el alimento y quien también suministra la conexión al sistema motivacional para que cuando aparece en la mente del sujeto la imagen de otro vigilándole (la imagen consecuencia de la implicación causal), experimente una imperiosa necesidad de escudriñar el entorno hasta asegurarse de que no hay otro miembro de su especie por los alrededores. De este modo, mediante su conexión a los comportamientos Base Nutrición y Autoprotección, el nuevo conocimiento (la nueva información de referencia) obtiene el acceso a los tres sistemas de control para poder convertirse y actuar como un comportamiento complementario de ambos comportamientos base.

### **Conclusión de La Parte I.**

A lo largo de esta primera parte del artículo hemos tratado de ir exponiendo un modelo funcional de la capacidad cognitiva de las aves y mamíferos, basado en la existencia de la posibilidad voluntaria de buscar imágenes en los archivos de las memorias y de proyectarlas en la mente (el pensamiento). Para ello hemos tratado de explicar como podría suceder el funcionamiento de las diferentes estructuras cognitivas, tanto las que asocian voluntariamente imágenes sensoriales multimodales de una misma cosa, sujeto, objeto o fenómeno (motores de búsqueda 1), como las que asocian voluntariamente imágenes procedentes de diferentes cosas, sujetos, asuntos y fenómenos (motores de búsqueda 2). Llegando a la importantísima conclusión de que al ser imprescindibles las

estructuras mnésicas para confeccionar los nuevos comportamientos (no genéticos) y debido al hecho de que la confección involuntaria del conocimiento que permitirá disponer de un nuevo comportamiento es tan lenta e infrecuente, podemos afirmar que si las estructuras cognitivas no hubieran aparecido, lo más probable es que no existiríamos ni las aves ni los mamíferos.

Quizás nos hemos extendido un poco más de lo debido, por lo que le pido encarecidamente disculpas al lector, pero me fue completamente imposible explicar el funcionamiento de la capacidad cognitiva sin analizar el importantísimo papel que desempeñan en el marco del proceso de elaboración de los nuevos conocimientos la matriz Lógico Comparativa y el sistema Creatividad. Y como para mí es más fácil entender algo si se me muestra a través de ejemplos, he creído necesario desarrollar y exponer los ejemplos necesarios para ilustrar todo lo anterior.

La segunda parte del artículo la dedicaremos a exponer una serie de razones que nos conducen a pensar que la capacidad cognitiva solo funciona durante toda la vida en nosotros los humanos, ya que es posible que el resto de los mamíferos y de las aves predeciblemente dejan de ser capaces de realizar aprendizaje voluntario después de que comienzan su vida como adultos independientes.

## Referencias.

- Alegri, R.F. y Harris, P. 2001. La corteza prefrontal en los mecanismos atencionales y la memoria. *Revista Neurol.* 32: 449-453.
- Arroyo, B.E., De Cornulier, T.H.Y. y Bretagnolle, V. 2002. Parental investment and parent-offspring conflicts during postfledging period in Montagu's harriers. *Anim. Behav.* 63: 235-244.
- Barbas, H. 2000. Connections underlying the synthesis of cognition, memory and emotion in primate prefrontal cortices". *Brain. Res. Bull.* 52: 319-330.
- Birch, H.G. 1945. The relation of previous experience insightful problema-solving". *J. Comp. Psychol.* 38: 267-383.
- Blakemore, S.J. y Frith, U. 2011. *Como Aprende el Cerebro*. Ariel, Barcelona.
- Boesch, C. y Boesch, A. 2000. *The Chimpanzee of the Tai Forest: Behavioural Ecology and Evolution*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Bower, T.G.R. 1979. *Human Development: A Primer*. Freeman, Nueva York. (Trad. cast.: *Psicología del Desarrollo*. Siglo XXI, Madrid. 1983).
- Bruner, J.S. 1972. Nature and uses of immaturity. *Am. Psychol.* 27: 1-22.
- Carey, S. y Hauser, L.B. 2000. Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proc. R. Soc. B* 267: 829-833.
- Carter, R. 2002. *El Nuevo Mapa del Cerebro*. RBA, Barcelona.
- Conrnwallis, C.K. y Birkhead, T.R. 2006. Social status and availability of females determine patterns of sperm allocation in the fowl. *Evolution* 60: 1486-1493.
- Damasio, A.R. 1997. Towards a neuropathology of emotion and mood. *Nature* 386: 769-770.
- Damasio, A.R. 2006. *El Error de Descartes*. Drakontos Bolsillo, Barcelona.
- Damasio, A.R. y Van Joesen, G.W. 1984. Emotional disturbances associated with focal lesions of the limbic frontal lobe. En: Heilman, K.M. y Satz, P. (eds.) *Neuropsychology of Human Emotion*. Guilford Press, New York.
- Davenport, T.R.K. y Roger, C.M. 1970. Cross-modal perception in apes. *Neuropsychol.* 11: 21-28.
- Davies, N.B. 1983. Poliandry, cloaca-pecking and sperm competition in dunnocks. *Nature* 302: 334-336.
- Delgado, J.M. 2001. Estructura y función del cerebelo. *Revista de Neurología* 33: 635-642.
- De Waal, F. 2015. *La Edad de la Empatía*. Tusquets, Barcelona.
- Dickinson, A. y Balleine, B.W. 2000. Causal cognition and goal-directed action. Pp. 185-204. En: Heyes, C. y Huber, L. (eds.) *The Evolution of Cognition*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- Emery, N.J. y Clayton, N.S. 2001. Effects of experience and social context on prospective caching strategies by scrub jays. *Nature* 414: 443-446.
- Etienne, A.S. 1976. L'étude comparative de la permanence de l'objet chez l'animal. *Bull. Psychol.* 37: 187-197.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G. et al. 1995. Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *J. Neurophysiol.* 73: 2608-2611.
- Fantz, R.L. 1956. A method of studying early visual development. *Perceptual and Motor Skills* 6: 13-15.
- Fantz, R.L. 1965. Ontogeny of perception. Pp. 365-403. En: Schrier, A.M., Harlow, H.F. y Stollnitz, F. (eds.) *Behavior of Nonhuman Primates*. Academic Press, Nueva York.
- Folstein, S. y Rutter, M. 1977. Infantile autism: a genetic study of 21 twin pairs. *J. Child. Psychol. Psychiatr.* 18: 297-321.
- Gallese, V. 2003. The manifold nature of interpersonal relations: The quest for a common mechanism. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 358: 517-528.
- Gallup, G. 1983. Towards and comparative psychology of mind. Pp. 473-510. En: Mellgren, R.L. (ed.) *Animal Cognition and Behavior*. North-Holland, Amsterdam.

- Gazzaniga, M. 2010. *¿Qué nos Hace Humanos?* Paidós, Barcelona.
- Gazzaniga, M.S. y Nass, R.D. 1987. Cerebral lateralization and specialization of human central nervous system. Pp. 701-761. En: Mouncastle, M.B., Plum, F. y Geiger, S.R. (comps.) *Handbook of Physiology, sección 1, Vol. 5, parte 2*. American Physiological Society. Bethesda, Maryland, USA.
- Gilbert, P. y Thach, W. 1977. Purkinje cell activity during motor learning. *Brain Res.* 128: 309-328.
- Gomez, J.C. 2007. *El Desarrollo de la Mente en los Simios, los Monos y los Niños*. Ed. Morata. Madrid.
- Goodall, J. 1968. The behavior of free-living chimpanzees in the Gombe Stream area. *Anim. Behav. Monogr.* 1: 161-311.
- Goodglass, H. 1983. *The Boston Diagnostic Aphasia Examination*. Lea and Febiger, Filadelfia.
- Grafman, J. 1994. Alternative frameworks for conceptualization of prefrontal lobe functions. Pp. 187-202. En: Boller, F. y Grafman, J. (eds.) *Handbook of Neuropsychology*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Grafman, J., Holyoak, K. y Boyer, F. 1995. *Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex*. New York Academy Science Vol. 769, New York.
- Hauser, L.B. y Carey, S. 1998. Building a cognitive creature from a set of primitives: Evolutionary and developmental insights. Pp. 51-106. En: Cummins, D.D. y Allen, C. (eds.) *The Evolution of Mind*. Oxford Univ. Press, Nueva York.
- Hauser, M.D., Pearson, H. y Seelig, D. 2002a. Ontogeny of tool use in cottontop tamarins *Sanguinus oedipus*: Ignate recognition of functionally relevant features. *Anim. Behav.* 64: 299-311.
- Hauser, M.D., Santos, L.R., Spaepen, G.M.Y. y Pearson, H. 2002b. Problem solving, inhibition and domain-specific experience: Experiments on cottontop tamarins *Sanguinus oedipus*. *Anim. Behav.* 64: 387-396.
- Hauser, M.D. 2001. *Wild Minds. What Animals Really Think*. Penguin Books, Londres.
- Hauser, M.D. 1999. Perseveration, inhibition and the prefrontal cortex: A new Look. *Current Opinion Neurobiol.* 9: 214-222.
- Hayne, J.D. et al. 2008. Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neurosci.* 11: 543-545.
- Hobaiter, C. y Byrne, R.W. 2014. The meaning of chimpanzee gestures. *Curr. Biol.* 24: 1596-1600.
- Iacoboni, M. 2011. *Las Neuronas Espejo*. Katz Editores, Madrid.
- Iacoboni, M., Dapretto, M., Davies, S., Pfeifer, J.H., Scott, A.A., Sigman, M. y Bookheimer, A.Y. 2006. Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorder. *Nature Neurosci.* 9: 28-30.
- Inoue-Kamamura, N. 2001. Mirror self recognition in primates: An ontogenic and phylogenetic approach. Pp. 297-312. En: Matzuzawa, T. (ed.) *Primate Origins of Human Cognition and Behavior*. Springer.
- Inoue-Nakamura, N. y Matsuzawa, T. 1997. Development of Stone tool use by wild chimpanzees *Pan troglodytes*. *J. Comp. Psychol.* 111: 159-173.
- Ito, M. y Kano, M. 1982. Long-lasting depression of parallel fibre-Purkinje cell transmission induced by conjunctive stimulation of parallel fibre and climbing fibers in the cerebellar cortex. *Neurosci. Lett.* 33: 253-258
- Johnson-Frey, S.H. 2003. What so special about human tool use. *Neuron* 39: 201-204.
- Junqué, C. y Cardoso, J. 2009. *Manual de Neuropsicología*. Síntesis Psicología, Madrid.
- Junque, C., Bruna, O. y Mataró, M. 2005. *Neuropsicología del Lenguaje*. Masson, Barcelona.
- Kandel, E.R. 2007. *En Busca de la Memoria: El Nacimiento de una Nueva Ciencia de la Mente*. Katz Ed., Madrid.
- Karmiloff-Smith, A. y Inhelder, B. 1975. If you want to get ahead, get a theory. *Cognition* 3: 195-212.
- Kaway, M. 1965. Newly-acquired pre-cultural behavior of the natural troop of Japanese monkeys on Koshima Island. *Primates* 6: 1-30.
- Köhler, W. 1927. *The Mentality of Apes*. Vintage, Nueva York.
- Kolb, B. y Whichaw, I.Q. 2006. *Neuropsicología Humana*. Médica Panamericana.
- Langer, J. 2000a. The descent of cognitive development. *Developmental Sci.* 3: 361-388.
- Langer, J. 2000b. The heterochronic evolution of primate cognitive development. Pp. 215-235. En: Parker, S.T., Langer, J. y Mc Kinney, M.L. (eds.) *Biology Brains and Behavior. The Evolution of the Human Development*. School for Advanced Research Press, New Mexico, USA.
- Lewkowicz D J Y Lickliter R (1994) "The development of intersensory perception". Hillsdane M J: Laurence Erlbaum.
- MacLean, P.D. 1993. Cerebral evolution of emotion. En: Lewis, M. y Haviland, J.M. (eds.) *Handbook of Emotions*. Guilford Press, New York.
- Marler, P. 1990. Song learning: The interface between behavior and neuro ethology. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 329: 109-114.
- Matsuzawa, T. y Inoue, S. 2007. Working memory of numerals in chimpanzee. *Curr. Biol.* 17: R1004-5.
- Mednick, S. 2009. REM, not incubation, improves creativity by priming associative

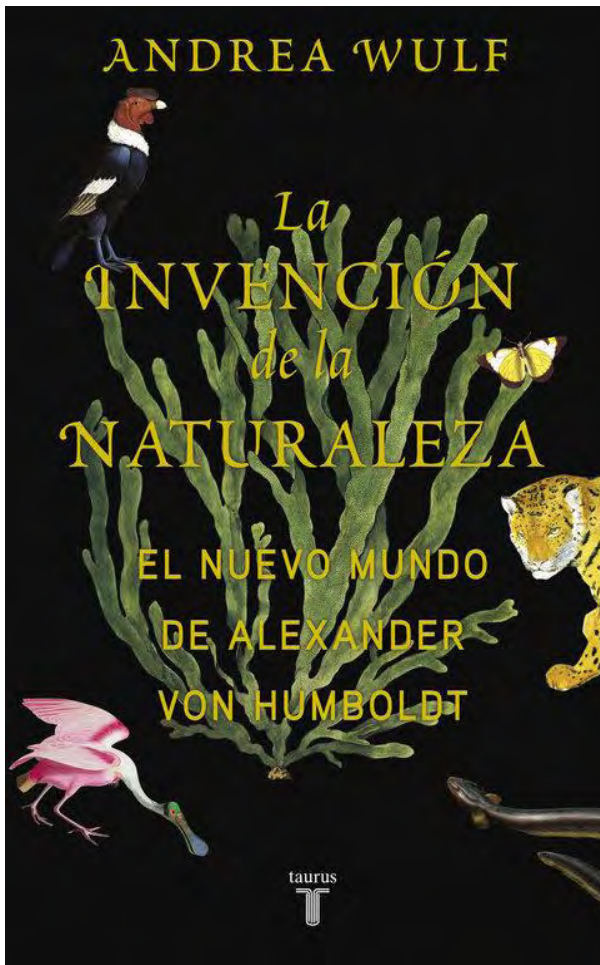
- network. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106: 10130-10134.
- Meltzoff, A.N. y Moore, M.K. 1977. Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198: 74-78
- Menzel, C.R. 1991. Cognitive aspect of foraging in Japanese monkeys. *Anim. Behav.* 41: 397-402.
- Menzel, E.W. 1973. Leadership and communication in young chimpanzee. Pp. 192-225. En: Menzel, E.W. (ed.). *Precultural Primate Behavior*. Karger, Basel.
- Menzel E W (1974) "E group of young chimpanzee in a one-acre field". *Behaviors of Nonhuman Primates*. Vol. 5. Eds. M Chrier Y F Stolnitz. Nueva York, Academic Press.
- Mineka, S. et al. 1984. Observational conditioning of snake fear in rhesus monkeys. *J. Abnormal Psychol.* 93: 355-372
- Navarro, M.I. La afasia de Broca. *Blog de Psicología*.
- Parker, S.T. y Mckiney, M.L. 1979. *The Evolution of Cognitive Development in Monkeys, Apes and Humans*. Johns Hopkins Univ. Press., Baltimore.
- Pérez, H. 2010a. La bipedestación no pudo liberar nuestras manos, sino que por el contrario fueron nuestras manos quienes, presumible-mente, liberarían a nuestros pies. *eVOLUCIÓN* 5 (2): 5-18
- Pérez, H. 2010b. *La Huella de Mary: El Surgimiento de los Homínidos*. Cultivalibros, Madrid.
- Pérez, H. 2012. Mystic River, los robots y los insectos eusociales. *eVOLUCIÓN* 7(1): 45-51.
- Pérez, H. 2016. El contrato social a la luz de la biología evolutiva. *eVOLUCIÓN* 11(1): 39-41.
- Piaget (1936) (trad. cast. *El Nacimiento de la Inteligencia en el Niño*. Crítica, Barcelona 1990, 2ª ed.)
- Povinelli, D.J., Rulf, A.B., Landau, K.R. y Bierschwale, D.F. 1993. Self recognition in chimpanzees (*Pan troglodytes*): Distribution, ontogeny and patterns of emergence. *J. Comp. Psychol.* 107: 347-372.
- Pruetz, J.D., Bertolani, P., Ontl, K.B., Lindshield, S., Shelley, M. y Wessling, E.G. 2015. New evidence on the tool-assisted hunting by chimpanzees pan troglodyte in a savannah habitat at Fongoli, Senegal. *R. Soc. Open Sci.* 2(4): 140507.
- Ramachandran, V.S. 1996. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc. Biol. Sci.* 263: 377-386.
- Ramachandran, V.S., Oberman, L.M., Hubbard, E.M., McCleery, J.P., Altschuler, E.L. y Pineda J.A. 2005. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cogn. Brain Res.* 24: 190-198.
- Rolls, E.T. 1986. Neural systems involved in emotion in primates. En: Plutchic, R. y Kellerman, H. (eds.) *Emotion: Theory, Research and Experience*. Vol. 3. Academic Press, New York.
- Rubia, F.J. 2006. *¿Qué Sabes de tu Cerebro?* Temas de Hoy, Madrid.
- Sackett, G.P. 1965. Effects of rearing conditions upon the behaviors of rhesus monkeys. *Child Developm.* 36: 855-868.
- Sackett, G.P. 1966. Development of preference for differentially complex patterns by infant monkeys. *Psychonomic Sci.* 6: 441-442
- Salk, J. 1985. *The Anatomy of Reality*. Praeger, Nueva York.
- Schneider, J.M. 1995. Survival and growth in groups of a subsocial spider (*Stegodyphus lineatus*). *Ins. Soc.* 42: 237-248.
- Seyfarth, R.M. y Cheney, D.T. 1980. The ontogeny of de vervet monkey alarm-calling behavior: A preliminary report. *Z. Tierpsychol.* 54: 37-56.
- Snyder, A. y Mitchel, J. 1999. Is integer arithmetic fundamental to mental processing?: The mind's secret arithmetic. *Proc. Biol. Sci.* 266: 587-592.
- Soler, M. 2012. *Adaptación del Comportamiento: Comprendiendo al Animal Humano*. Síntesis, Madrid.
- Southgate, V. y Gómez J.C. 2003. Object understanding in rhesus macaques. *Psychologia Seminars*. Univ. St. Andrews, Dept. Psychology.
- Szillard, L. y Lanoute, W. 1992. *Genius in the Shadows*. Charles Scribner, Nueva York.
- Temple, C. 1993. *The Brain*. Penguin Books, Harmondsworth.
- Tirapu, J., Ríos, M. y Maestú, F. 2008. *Manual de Neuropsicología*. Viguera Ed., Barcelona.
- Tomasello, M. y Call, J. 1997. *Primate Cognition*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Tomasello, M., Davis-Dasilva, M. y Camak, L. 1987. Observational learning of tool-use by young chimpanzees. *Human Evol.* 2: 175-183.
- Torres, M. 2006. *El Genio*. Biblioteca Nueva, Madrid.
- Uller, C., Jager, R. Gurdy, G. y Martin, C. 2003. Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more rudiments of number in an amphibian. *Anim. Cogn.* 6:105-112.
- Watabnabe, S., Sacamoto, J. y Wakita, M. 1995. Pigeons' discrimination of paintings by Monet and Picasso. *J. Exp. Anal. Behav.* 63: 165-174.
- Whiten, A., Horner, V. y De Waal, F. 2005. Conformity to cultural norms of tool use in chimpanzees. *Nature* 437: 737-740.
- Zimmermann, R.R. y Torrey, C.C. 1965. Ontogeny of learning. Pp. 405-447. En: Schrier, A.M., Harlow, H.F. y Stollnitz, F. (eds.) *Behavior of Nonhuman Primates*. Academic Press, Nueva York.
- Zuberbühler, K. 2000a. Referential labeling in wild diana monkeys. *Anim. Behav.* 59: 917-927.

- Zuberhüler, K. 2000b. Interspecies semantic communication in two forest monkeys”. *Proc. R. Soc. Lond. B* 267: 713-718.
- Zuberhüler, K. 2009. Wild chimpanzees rely on cultural knowledge to solve an experimental honey acquisition task. *Curr. Biol.* 19: 1806-1810.

### **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. Es autor de “La Huella de Mary. El Surgimiento de los Homínidos” y ha publicado 9 artículos en esta misma revista.

## COMENTARIOS DE LIBROS



## “LA INVENCION DE LA NATURALEZA: EL NUEVO MUNDO DE ALEXANDER VON HUMBOLDT”

de Andrea Wulf

Taurus, Barcelona, 2016.

Comentado por

Víctor J. Luque

Grupo Méthodos, Depto. Filosofía,  
Universidad de Valencia.

Email: victor.luque@uv.

A la historiadora Andrea Wulf debemos agradecer uno de los libros más estimulantes de los últimos años, cuyo protagonista no es otro que Alexander von Humboldt (1769-1859). Galardonada obra desde su publicación original en inglés en 2016, Wulf perfila la figura de Humboldt con la intención no sólo de recuperar su figura sino reivindicar su aproximación a la naturaleza como posible solución a los diferentes retos a los que se enfrenta la humanidad (especialmente el cambio climático).

Humboldt fue uno de los naturalistas más importantes de la historia, de vasta obra que abarca una ingente cantidad de volúmenes y gran variedad de temas, y cuya influencia se dejó sentir tanto entre sus contemporáneos como en las generaciones posteriores.

El libro está dividido en **cinco partes**. La **primera** expone los años de formación del naturalista prusiano. Hijo de una familia acomodada de la aristocracia prusiana, su infancia y juventud estuvieron marcadas por las exigencias educativas de su madre. Mientras Humboldt era un niño inquieto, deseoso de aire libre y aventuras, su madre deseaba que su hijo se convirtiera en un burócrata. Así, tanto Alexander como su hermano mayor Wilhelm recibieron clases privadas desde niños, donde sus profesores les transmitieron los ideales ilustrados. Aunque la voluntad materna dio sus frutos en el hijo mayor (Wilhelm se incorporó al aparato estatal prusiano como diplomático), la naturaleza aventurera de Alexander se resistió. Humboldt finalizó sus estudios de ingeniería rápidamente y empezó a mostrar signos característicos de una personalidad que la haría irresistible para casi todos sus contemporáneos. Se interesaba prácticamente por cualquier tema y lo estudiaba a conciencia, siendo después capaz de elaborar largas disquisiciones en cualquier reunión, científica o social, a una velocidad de vértigo. Esta fuerte personalidad encandiló a Goethe el cual, a pesar de doblarle en edad, sintió una pronta y duradera conexión con Humboldt. Fruto de esta amistad y de la firme argumentación de Goethe que pensaba que el conocimiento no sólo debía quedarse con las maneras frías de la medición y la clasificación, sino que debían incluir la experiencia estética del propio científico, Humboldt adquirió una nueva dimensión con la que conceptualizar la naturaleza.



La **segunda parte** se centra en su viaje a Centroamérica y Sudamérica. Deseoso de aventuras y de conocimiento, Humboldt ideó varias expediciones a diferentes lugares del globo que lamentablemente quedaban en meros proyectos hasta que, finalmente, uno de ellos se consumó. Su objetivo eran las colonias españolas y para acceder a ellas necesitó el permiso del rey Carlos IV pues los extranjeros tenían prohibida la entrada. Humboldt, acompañado del botánico Aimé Bonpland, recorrió gran parte de las antiguas colonias españolas, explorando tierras, ríos, montañas, desiertos, volcanes; recogiendo muestras de animales y plantas en baúles que rápidamente se llenaban; haciendo mediciones en condiciones precarias con instrumentos tan delicados que pocos de ellos volvieron a Europa. Dichas tierras donde la tala indiscriminada de árboles producía inundaciones nunca vistas por los lugareños, mostraron a Humboldt también la capacidad del hombre para perturbar la naturaleza. Pero sin duda uno de los elementos fundamentales de aquella expedición fue la ascensión del volcán Chimborazo, el cual se creía entonces el más alto de la Tierra. Este viaje extenuante de más de cinco años permitió también a Humboldt visitar la nueva nación en construcción, los Estados Unidos de América, y conocer a su presidente Thomas Jefferson. Humboldt entusiasmó al presidente con sus historias y conocimientos no sólo en botánica (de la cual Jefferson era un ferviente admirador) sino también cartográficos de las tierras al sur de Estados Unidos, a los que el prusiano había tenido acceso privilegiado, o había elaborado y perfeccionado él mismo mediante sus mediciones.

La **tercera parte** explica su retorno a Europa, los años de recolección y puesta en común de todos los datos, ideas, etc., producidas durante el viaje. Humboldt pasó a convertirse en un personaje conocido, trabajando en diferentes ciudades europeas como Berlín o Londres, pero en especial París. Es allí donde empieza la producción ingente de obras que lo convertirán en una celebridad. Dichas obras se caracterizarán no sólo por sus precisas descripciones científicas sino por incluir, recordando las lecciones de su amigo Goethe, narraciones en primera persona de sus experiencias estéticas y emocionales respecto a los objetos de estudio. Estas obras influirán a toda una generación ávida de aventuras y maravillada por el nuevo continente, como el joven Charles Darwin. En ellas Humboldt muestra su mejor virtud: el de aglutinador de ideas, capaz de establecer conexiones nunca hechas hasta entonces que mostraran la unidad de la naturaleza. Esta imagen, inspirada en gran medida por el volcán Chimborazo, queda plasmada en el concepto de *Naturgemälde* (*pintura de la naturaleza*) y su correlato pictórico. Este muestra la distribución de los organismos desde la base de la montaña hasta su cima, como un entramado en el que todo está relacionado. Así mismo, el viaje reafirmó a Humboldt en sus ideas ilustradas contrarias al colonialismo y la esclavitud que, junto a las descripciones de las maravillas del nuevo mundo, causaron gran impacto en un joven Simón Bolívar.



La **cuarta parte** analiza la vida de Humboldt en la corte prusiana y de cómo, a pesar de sus más de cincuenta años de edad, vuelve a emprender una nueva aventura: una expedición por Rusia. Este viaje muestra el espíritu aventurero y la resistencia física del prusiano. Además, gracias a este viaje Humboldt puede recopilar los datos que le faltaban para compararlos con los conseguidos en su viaje por Sudamérica, en ese *leitmotiv* humboldtiano de establecer una conexión total entre lugares, aparentemente, tan distintos. Estas ideas quedarán plasmadas en la obra *Cosmos*, editada en cinco volúmenes durante casi dos décadas. Con la ayuda de expertos con los que se carteaba a diario, Humboldt elabora una obra de pretensiones totalizadoras, contraria a los nuevos tiempos de especialización, que permitiera mostrar en una sola obra todo el mundo material. A su vez, Wulf relata la relación entre las ideas de Humboldt y los trabajos posteriores de Charles Darwin. Los escritos sobre la geografía de las plantas, la distribución de los organismos, los climas y los hábitats, sus alteraciones y cambios a través del tiempo, resultaron ser de gran ayuda en el trabajo del naturalista inglés. Humboldt era un defensor de la mutabilidad de las especies y de su transformación gradual. También Humboldt había relatado, aunque de pasada, la larga y continua disputa del espacio y el alimento por parte de los organismos.

La **quinta parte** sigue la exposición sobre la influencia de Humboldt en diferentes autores, como había hecho Wulf en la parte anterior con Henry Thoreau. Así, la necesidad de unión entre ciencia y arte se refleja en la obra del zoólogo Ernst Haeckel, quien a través del estudio del radiolario y su plasmación en meticulosos y bellos dibujos, consigue aunar su alma científica con su alma poética. La morfología, el estudio de la estructura y la forma de los organismos, se convirtió en el mejor aliado de las ideas humboldtianas, inspirando a artesanos, diseñadores, artistas y arquitectos. A su vez, Wulf presenta a Humboldt como el precursor del pensamiento ecologista y la preservación de la naturaleza, plasmado en personajes como George Perkins Marsh o John Muir. Humboldt, a sus ochenta y nueve años se había convertido en una leyenda viviente, un mito, una fuerza de la naturaleza cuyo impacto se dejaba sentir en las generaciones posteriores.

Una de las virtudes del libro es transportarnos a un mundo que, sencillamente, ya no es el nuestro. Un tiempo en el que existían otros *mundos* que explorar, donde las comunicaciones estaban limitadas tanto física (desplazamientos a pie o a tracción animal, sin equipamiento de escalada, ni forma de establecer contacto más allá de la correspondencia) como burocráticamente (las mayorías de los territorios prohibía la entrada de extranjeros). Es decir, un mundo casi pre-industrial. El libro es profuso en detalles que muestran todas estas vivencias. Aunque el entusiasmo de la autora por Humboldt le hace ver influencias directas donde, se podría argumentar, no hay más que ligeras coincidencias argumentales, ello no desacredita lo que se puede considerar un extraordinario *tour de force* sobre la obra y, en cierto modo, la leyenda de Alexander von Humboldt, el "hombre más grande desde el Diluvio".

# Crónica del Congreso de Mallorca

## por El Comité Organizador



El VI Congreso de la Sociedad Española de Biología Evolutiva (SESBE) se ha celebrado en Palma (Illes Balears) desde la mañana del miércoles 17 hasta la tarde del viernes del día 19 de enero de 2018 y ha sido organizado por el grupo de Genética de la Universitat de les Illes Balears.

El director general de Innovación e Investigación y el Vicerrector de la Universidad inauguraron oficialmente el Congreso acompañados del presidente de la SESBE, el Dr. Andrés Moya, y de la Dra. Cori Ramon, investigadora principal del grupo organizador.

El congreso contó con la presencia de 86 investigadores, que comunicaron su trabajo mediante 40 posters y 20 comunicaciones orales. El comité organizador invitó a 8 ponentes, a razón de dos por sesión. Aprovechamos para agradecer a toda su participación.

Las ponencias se han estructurado en cuatro sesiones y cada una de ellas ha contado con dos conferencias plenarias:



Inauguración del congreso

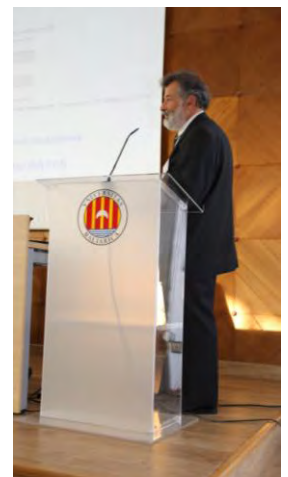
**Evolución humana.** El título de la conferencia inaugural fue *Genomic insights into the demographic and adaptive history of humans*, a cargo del Dr. Lluís Quintana Murci; director científico del Instituto Pasteur de Paris. El Dr. Quintana centró su exposición en el papel de la selección natural, en sus distintas formas e intensidades, en el mantenimiento de la respuesta inmunitaria en distintas poblaciones.



Lluís Quintana

La conferencia plenaria del Dr. Antonio Amorim, investigador principal del grupo de Genética de Poblaciones (IPATIMUP, Porto) explicó como la Genética Evolutiva y la Genética Forense, dos disciplinas con una base común, aunque con distintos objetivos, podrían desarrollar una fuerte cooperación de las que saldrían ambas beneficiadas.

Se presentó una comunicación oral sobre evolución humana y algunas en forma de posters, la sesión se completó con comunicaciones sobre la evolución de sistema MHC, la incipiente evolución simpátrica en los cíclidos, y el endosimbionte *Bartonella*.



Antonio Amorim

**Genética de poblaciones, experimentación y evolución genómica.** Esta sesión estuvo introducida por las conferencias de la Dra. Amparo Latorre, la cual versó sobre Evolución y transmisión de la simbiosis en *Blattella germanica*. A continuación, el Dr. Toni Gabaldón, habló sobre *Evolutionary emergence of pathogenesis in fungi*.



Las comunicaciones orales sobre la multipartición en virus, la presencia de un nuevo clúster de genes en la evolución de los mamíferos, la existencia de recombinación en la evolución de la bacteria *Treponema*, la relación entre el tamaño efectivo y la tasa de fijación de mutaciones deletéreas completaron la sesión de la tarde de este primer día de congreso. Numerosos posters se aportaron a esta sesión.

**Ecología evolutiva, comportamiento y filogenética.** Las aportaciones a esta sesión en forma de conferencias plenarias las desarrollaron el Dr. Richard P. Brown (John Moores University. Liverpool UK) *Dating divergence times with clock partitions* y el Dr. Rafael Zadoya *Phylogenomics of the family Conidae and evolution of conotoxins*.

Las ponencias orales versaron sobre la evolución en los dípteros con interés forense, la filogenia de los escarabajos tigre, la respuesta a los cambios del ambiente en función de las características genética de una población. A esta sesión también se presentaron una considerable cantidad de posters.

**Evolución insular.** Finalmente, las conferencias de esta última sesión fueron *Evolución de las estrategias de alimentación en las islas*, a cargo del Dr. Valentín Pérez-Mellado; y la Dra. Anna Traveset disertó sobre la evolución y consecuencias demográficas de la dispersión de semillas en las Illes Balears.

La evolución en las islas y en algunas especies de distribución a lo largo del mediterráneo centró, así como diversas aportaciones sobre la selección sexual.

El VI Congreso, al igual que sus predecesores contó con una parte lúdica, visita a la Catedral y cena el miércoles y visita al Castillo de Bellver, con picada incluida, el jueves por la tarde-noche.

Agradecemos el soporte de la Dirección General de Recerca del Govern Balear y de la UIB, a la SESBE haber confiado en nuestro grupo la organización y a todos los participantes sus aportaciones. No queremos dejar de destacar el cordial ambiente del que se disfrutó durante el congreso. Gracias a todos.



Visita al Castell de Bellver



## En recuerdo de Mario A. Fares por Santiago F. Elena

En septiembre de 1994, volví a Valencia de una breve estancia de investigación en la Universidad de California en San Diego. Lleno de energía, ideas y motivación para terminar algunos experimentos restantes y comenzar a escribir mi tesis doctoral. Cuando llegué al laboratorio, un nuevo estudiante de cuarto año de licenciatura estaba allí esperándome. Su nombre era Mario. Al principio, su acento me confundió un poco. Sus apellidos, Fares Riaño, me sonaron a gallego, así pensé que era de allí. Pero no era el caso. Resultó ser nacido en Valencia, pero criado en el país de origen de su padre, Siria. Eso tenía sentido, la forma en que siempre pronunció la "s" revelaba su infancia hablando árabe. Desde el principio, Mario estaba interesado en aprender todo sobre la evolución de virus, los cultivos celulares, los experimentos de competencia para medir la eficacia del virus y todas las técnicas que utilizamos en el laboratorio en aquellos días. Hasta ese momento, él era el estudiante más interesado y ansioso por aprender que había tenido hasta la fecha. Era tan apasionado, que un par de meses después de haber comenzado, estaba ya dispuesto a presentar un trabajo en el journal club del grupo. ¡Y en inglés! Algo que incluso muchos estudiantes de doctorado de último año eran reacios a hacer...



Mientras trabajaba en el laboratorio, Mario y yo teníamos largas conversaciones sobre su vida en Siria y la cultura árabe: su familia, la estricta escuela a la que asistió, las razones por las que dejaron el país y regresaron a Valencia, las dificultades para aclimatarse al nuevo país y al Instituto donde cursó el BUP. Pero principalmente, hablamos sobre ciencia, virus, cuasiespecies, eficacia biológica, experimentos de competencias, datos, estadísticas, ordenadores...

Algunos meses después, obtuve mi doctorado y me fui a Michigan State University (MSU) para mi postdoc. Durante ese tiempo, seguimos intercambiando correos electrónicos a menudo, así que sabía cómo estaba progresando durante sus últimos dos años como estudiante universitario. Cuando volví dos años y medio después, Mario estaba allí, terminando de escribir su tesina de licenciatura en filogenómica experimental usando datos del virus de la fiebre aftosa. Como nuevo profesor ayudante que era, me esforzaba por comenzar mi propio grupo de investigación y establecer un nuevo laboratorio. Para mi frustración, no pude retener a Mario para que trabajara conmigo, ya que él había obtenido una beca para hacer su doctorado bajo la supervisión de Eladio Barrio y Andrés Moya en la evolución molecular de la simbiótica GroEL. Afortunadamente, en ese momento todos nos mudamos al nuevo edificio del Institut Cavanilles de Biodiversidad i Biologia Evolutiva de la Universitat de València. Y afortunadamente, Eladio y yo compartimos el mismo laboratorio en el sótano del edificio, lo que significa que Mario y yo estábamos, una vez más, en el mismo laboratorio. ¡Fue un momento muy emocionante! Lleno de nuevas ideas, mucha gente joven y nueva que se unía al laboratorio. Mientras que él y el otro Mario, X, diseccionaban cucarachas congeladas (¡qué cosa tan desagradable!) y nosotros evolucionábamos virus, aun teníamos tiempo para intensas discusiones sobre cómo abordar el papel de GroEL durante la simbiosis bacteriana, desde una perspectiva de evolución experimental. De hecho, terminamos diseñando y ejecutando lo que llamamos nuestro "proyecto X", que acabó siendo un artículo publicado en Nature.

Después de completar su doctorado, Mario estaba decidiendo entre si seguir un postdoctorado en el laboratorio de Richard Lenski en MSU o mudarse al laboratorio de Ken Wolfe en el Trinity College de Dublín (TCD). Tuvimos algunas charlas intensas sobre lo que podía ser una mejor opción en términos de ciencia y de futuro. Debo decir que esta fue la única vez que me decepcionó: optó por ir a Irlanda y seguir una carrera en genómica comparativa. Los hechos demostraron que mis preocupaciones estaban equivocadas y que su elección fue buena: ¡pronto se abrió paso al éxito! Rápidamente publicó una serie de artículos sobre el destino de los genes duplicados y produjo una serie de algoritmos para predecir las covariaciones moleculares y para detectar restricciones selectivas a lo largo de las ramas de árboles filogenéticos. El cielo era su único límite y estaba dispuesto a llegar rápido. Antes de cumplir los dos años como postdoc, fue seleccionado para un puesto de profesor titular en la Universidad Nacional de Irlanda en Maynooth, donde creó su propio grupo de Genómica Evolutiva y Bioinformática. Ganó el Premio de Investigador Joven del Presidente de Irlanda en 2004, con un presupuesto sustancial que sirvió para agrandar el laboratorio y para contratar a un grupo de brillantes estudiantes y postdocs. Poco después, trasladó su grupo al Instituto Smurfit de Genética en el Trinity College de Dublín, consolidando su grupo y después de un tiempo convirtiéndose en fellow de Trinity, un honor especial otorgado por sus colegas en reconocimiento a su excelencia académica.

Una combinación de motivos personales y familiares -sin mencionar que el nublado y frío Dublín no podía competir con el brillante cielo azul de la cálida Valencia- lo animaron a presentarse para un puesto de científico titular del CSIC en Biología Molecular de Sistemas creada para el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), el lugar donde he estado trabajando desde 2002. ¡No puedo describir lo encantado que estuve de escuchar su decisión! Un gran día. Obviamente, consiguió la plaza y se unió a IBMCP un año después, donde puso en marcha un productivo grupo de investigación sobre genómica comparada y evolución experimental de bacterias y levaduras. Desde entonces, disfruté de tenerlo en el piso de abajo como colega y amigo. Volvimos a las largas discusiones científicas, diseñando experimentos de evolución, discutiendo la mejor manera de analizar datos, colaborando en algunos proyectos, viajando juntos a conferencias (¡qué bueno el marisco de las Jacques Monod Conferences en Roscoff y los picantísimos huevos divorciados para desayunar en el Kavlin Institute of Theoretical Physics en Santa Bárbara!), y pensando a lo grande para crear el nuevo Instituto de Biología Integrativa y de Sistemas (I2SysBio), una aventura conjunta entre el CSIC y la Universitat de València que recientemente ha comenzado a ser una realidad... Todos los días a las 11:00, hacíamos un alto para tomar café con un grupo de colegas (los "sunormales" cafeteros) con quienes arreglábamos todos los problemas del sistema científico en España, la enseñanza, la política, la educación de los niños, los coches nuevos, las casas nuevas, el calentamiento global... la vida misma. Mario era un tipo tan agradable y amable, genuinamente interesado en la ciencia, que rápidamente estableció una serie de colaboraciones con diferentes grupos del IBMCP en los temas más variados.

Durante sus años en Valencia, conservó su puesto en el Trinity College de Dublín. Para otra persona esto podría haber sido imposible, pero Mario siguió enseñando allí evolución molecular a estudiantes muy agradecidos, y también dirigió un laboratorio de investigación productivo financiado con fondos competitivos del Science Foundation Ireland. El día de su funeral, las banderas de la universidad ondearon a media asta en Dublín.

Nunca he conocido a nadie que fuera tan optimista y positivo como Mario. Incluso en los momentos más difíciles durante su enfermedad, nunca se dio por vencido. Cada vez que lo visitamos en el hospital, él estaba sentado allí trabajando con su portátil. Pensando en proyectos futuros y en hacer planes para trasladar su laboratorio a I2SysBio, al otro lado de la ciudad, escribiendo artículos y proyectos... Como supimos después, incluso en su última tarde, estuvo subiendo evaluaciones de proyectos a la página web de la ANEP.

Como me dijo varias veces durante esos días malos, estaba lleno de energía y entusiasmo por un futuro con las cosas más importantes de su vida: Christina, Noa y Lucía.

Gracias Mario. Has sido un ejemplo para todos. Te echamos de menos, amigo.

## 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

© 2018



ISSN 1989-046X