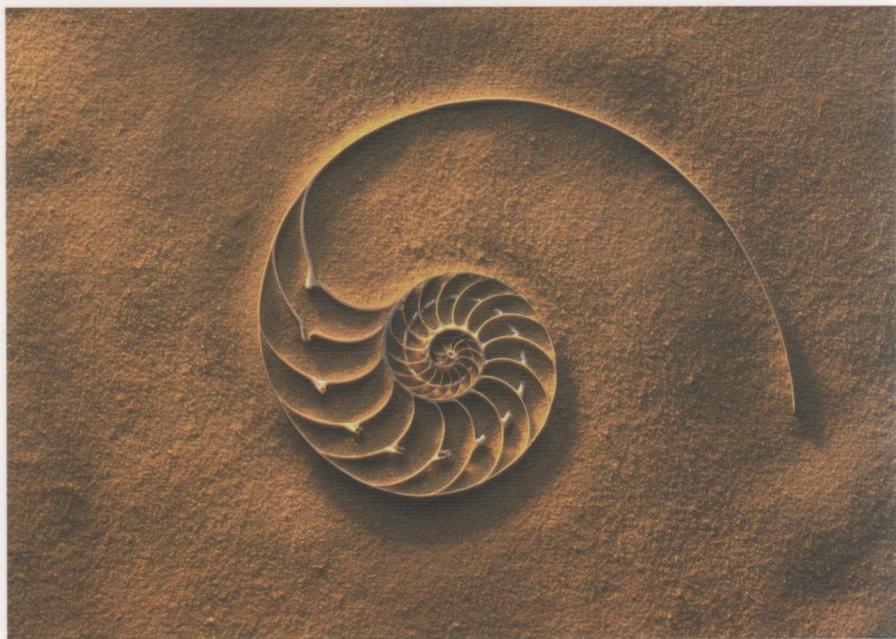


RUPERT SHELDRAKE

UNA NUEVA CIENCIA DE LA VIDA

NUEVA EDICIÓN COMPLETAMENTE REVISADA
DEL CLÁSICO DE LA CIENCIA



Kairós



He aquí un libro revolucionario cuya importancia ha sido comparada a la de *El origen de las especies* de Darwin. El biólogo Rupert Sheldrake afirma que la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno aumenta proporcionalmente a su ocurrencia pasada. Cuando los químicos, por ejemplo, consiguen que un determinado producto cristalice en una parte del mundo, por ejemplo, resulta más sencillo cristalizarlo en cualquier otro lugar.

Después de que las ratas de un laboratorio de Harvard aprenden a escapar de un laberinto, las ratas de Melbourne (Australia) escapan mucho más rápidamente de un laberinto similar. ¿Por qué y cómo?

El doctor Sheldrake denomina a este proceso «resonancia mórfica», una expresión con la que se refiere al modo en que formas y conductas de organismos pasados infuyen sobre organismos presentes. Sheldrake reinterpreta las regularidades de la naturaleza como algo que se asemeja más a hábitos que a leyes inmutables.

Calificado, por la revista *Nature*, en su primera edición, como «el mejor candidato a la hoguera que se ha visto en muchos años», esta edición completamente actualizada cuenta con un nuevo Prólogo a la segunda edición castellana y con Apéndices ampliados, que incluyen una discusión de nuevas pruebas experimentales. Se trata de un libro que, aunque moleste a algunos, inspirará a las mentes curiosas.

«Sheldrake es un excelente científico, un científico perteneciente a la misma especie de los que, en el pasado, descubrieron continentes y explicaron el mundo en sonetos.»

New Scientist

«Un libro bien escrito, provocador y entretenido... ¿Improbable? Sí, pero no tanto como Galileo.»

Biologist

Rupert Sheldrake es biólogo y autor de más de ochenta artículos científicos y de diez libros. Es miembro del cuerpo docente del Clare College, de Cambridge e investigador de la Royal Society. Ha escrito en varios periódicos, como *The Guardian*, en el que tiene una columna mensual y colabora en varias revistas, entre las que cabe destacar *New Scientist* y *Spectator*.

www.editorialkairos.com

Imagen cubierta: Age / Vladimir Shulevsky

Nueva Ciencia



9 788499 880013

OTROS LIBROS KAIRÓS:

David Bohm

LA TOTALIDAD Y EL ORDEN IMPLICADO

La obra fundamental del nuevo paradigma científico, donde el eminente profesor Bohm propone nada menos que un nuevo modelo de realidad, a través de una interpretación original de la física cuántica, el modelo holográfico de K. Pribram y la filosofía de la conciencia de Krishnamurti.

David Bohm y F. David Peat

CIENCIA, ORDEN Y CREATIVIDAD *Las raíces creativas de la ciencia y la vida*

De Aristóteles a Einstein, del teorema de Pitágoras a la mecánica cuántica, estos renombrados autores nos descubren, con elegancia y entusiasmo, cómo se fundan las nuevas teorías científicas, cómo se eliminan los bloqueos a la creatividad y cómo la ciencia puede conducirnos a un conocimiento más profundo de la sociedad, la condición humana y la misma mente.

D. Bohm, F. Capra, R. Sheldrake, P. Davies,
J. Lovelock, B. Griffiths, J. Eccles y otros

EL ESPÍRITU DE LA CIENCIA *Edición a cargo de David Lorimer*

Científicos y pensadores en disciplinas muy variadas examinan la relación entre la ciencia y la vida. Se trata de un diálogo entre ciencia y espiritualidad y una indagación en la conciencia y en la inteligencia del cosmos. A través de la física, la cosmología o la biología, estos ensayos exploran la naturaleza del conocimiento y el papel de la creatividad humana, resaltando la necesidad de salvar las distancias entre las distintas disciplinas.

Dorion Sagan, Tyler Volk

SEXO - MUERTE

Dos libros en uno, que exploran las dos dimensiones de la vida que más han influido en nuestros pensamientos, miedos y sueños. En *Sexo*, Dorion Sagan da un paseo revelador y divertido por la ciencia, la filosofía y la literatura de uno de los temas que más han obsesionado a la humanidad. En *Muerte*, Tyler Volk combina autobiografía, biología e historia para poner de relieve que la muerte forma parte de la evolución y que la conciencia de nuestra mortalidad afecta nuestra vida cotidiana.

OTROS LIBROS KAIRÓS:

Rupert Sheldrake

LA PRESENCIA DEL PASADO

Resonancia mórfica y hábitos de la Naturaleza

Desafiando suposiciones fundamentales de la ciencia, esta hipótesis revolucionaria sugiere que la Naturaleza tiene memoria. No es una máquina y de esta manera, cada tipo de sistema (se trate de cristales, pájaros o sociedades) se forma a partir de un único campo mórfico con una memoria colectiva o asociada, y no a partir de leyes inmutables universales.

Alva Noë

FUERA DE LA CABEZA

Por qué no somos el cerebro

Y otras lecciones de la biología de la consciencia

Este libro rechaza la teoría de que nuestra experiencia del mundo se origine en conexiones neuronales; por el contrario, la consciencia emerge de nuestra interacción con el entorno. El autor explica que no somos nuestro cerebro, sino que éste da lugar a la consciencia al permitir un intercambio entre la persona o el animal y el mundo. Esto implica que nuestro cuerpo y nuestra mente están activos, y que podemos modificarlos.

José Luis San Miguel de Pablos

FILOSOFÍA DE LA NATURALEZA

La otra mirada

El autor pone de manifiesto lo inadecuado de la pretensión de exclusividad de la aproximación científica a la Naturaleza. Por contra, propugna la necesidad de recuperar un enfoque no sólo inter y trans-disciplinar, sino explícitamente filosófico de la misma. De hecho, la mirada filosófica resulta indispensable para recuperar el contacto intelectual y vital con la Madre Naturaleza.

Ervin Laszlo

EL COSMOS CREATIVO

*Hacia una ciencia unificada de la materia,
la vida y la muerte*

Prólogo de Karl Pribram

Desde una perspectiva sistémica se abordan los temas candentes de nuestro tiempo: la crisis ecológica, la superpoblación, el exceso de especialización en la sabiduría, etc. Ervin Laszlo, destacado miembro del Club de Roma y presidente del Club de Budapest, ofrece aquí una integración multidisciplinar entre antropología, biología, física, filosofía de la ciencia y sociología.

Rupert Sheldrake

UNA NUEVA
CIENCIA
DE LA VIDA

La hipótesis
de la causación formativa

*NUEVA EDICIÓN
COMPLETAMENTE REVISADA*

editorial **K**airós

Título original: A NEW SCIENCE OF LIFE

© 1981, 2009 Rupert Sheldrake

© de la edición en castellano:

2011 by Editorial Kairós, S. A.

Editorial Kairós, S. A.
Numancia, 117-121, 08029 Barcelona, España
www.editorialkairos.com

Nirvana Libros S. A. de C. V.
3.ª Cerrada de Minas, 501-8, CP 01280 México, D.F.
www.nirvanalibros.com.mx

© de la traducción del inglés: Marge - Xavier Martí Coronado
y David González Raga

Primera edición: Febrero 1990

Cuarta edición: Abril 2011

ISBN: 978-84-9988-001-3

Depósito legal: B-15.420/2011

Fotocomposición: Pacmer, S.A. Alcolea, 106-108, 1.º, 08014 Barcelona

Tipografía: Times, cuerpo 11, interlineado 12,8

Impresión y encuadernación: Romanyà-Valls. Verdaguer, 1. 08786 Capellades

Este libro ha sido impreso con papel certificado FSC, proviene de fuentes respetuosas con la sociedad y el medio ambiente y cuenta con los requisitos necesarios para ser considerado un "libro amigo de los bosques".

Todos los derechos reservados.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita algún fragmento de esta obra.

A Dom Bede Griffiths, O.S.B.

SUMARIO

Prólogo a la segunda edición española	13
Las limitaciones de la biología mecanicista	14
Los campos morfogenéticos y los campos mórficos	21
La relación de los campos morfogenéticos con la física moderna	21
Las pruebas experimentales	25
Una nueva manera de hacer ciencia	26
Controversias	31
Introducción	37
1. Los problemas pendientes de la biología	43
1.1. El trasfondo del éxito	43
1.2. Los problemas de la morfogénesis	46
1.3. Conducta	51
1.4. Evolución	53
1.5. El origen de la vida	55
1.6. Las limitaciones de la explicación física	56
1.7. Psicología	57
1.8. Parapsicología	60
1.9. Conclusiones	62
2. Tres teorías sobre la morfogénesis	65
2.1. Investigación descriptiva y experimental	65
2.2. El mecanismo	68

2.3. El vitalismo	81
2.4. El organicismo	90
3. Las causas de la forma	97
3.1. El problema de la forma	97
3.2. Forma y energía	103
3.3. La predicción de los cristales	109
3.4. La estructura de las proteínas	117
3.5. La causación formativa.	121
4. Campos morfogenéticos	127
4.1. Gérmenes morfogenéticos	127
4.2. Morfogénesis química	130
4.3. Los campos morfogenéticos como "estructuras de probabilidad"	136
4.4. Los procesos probabilísticos en la morfogénesis iológica	140
4.5. Gérmenes morfogenéticos en sistemas biológicos	144
5. La influencia de las formas anteriores.	149
5.1. La constancia y la repetición de las formas . . .	149
5.2. La posibilidad general de las conexiones causales transtemporales.	152
5.3. La resonancia mórfica	153
5.4. La influencia del pasado.	155
5.5. Implicaciones de la resonancia mórfica atenuada.	162
5.6. Una prueba experimental con los cristales . . .	165
6. La causación formativa y la morfogénesis.	173
6.1. Morfogénesis secuencial.	173
6.2. La polaridad de los campos morfogenéticos . .	175

6.3. El tamaño de los campos morfogenéticos	177
6.4. La creciente especificidad de la resonancia mórfica durante la morfogénesis	178
6.5. La conservación y la estabilidad de las formas	179
6.6. Una nota sobre el "dualismo físico"	181
6.7. Resumen de la hipótesis de la causación formativa	183
7. La herencia de la forma	189
7.1. Genética y herencia	189
7.2. Modificación de los gérmenes morfogenéticos	192
7.3. Vías alteradas de la morfogénesis	196
7.4. Dominancia	198
7.5. Semejanzas familiares	202
7.6. Las influencias del entorno y la resonancia mórfica	203
7.7. La herencia de los caracteres adquiridos	205
7.8. Experimentos con fenocopias	209
8. La evolución de las formas biológicas	215
8.1. La teoría neodarwiniana de la evolución	215
8.2. Mutaciones	220
8.3. La divergencia de las creodas	221
8.4. La supresión de las creodas	225
8.5. La repetición de las creodas	227
8.6. La influencia de otras especies	230
8.7. El origen de nuevas formas	233
9. Movimientos y campos motores	235
9.1. Introducción	235
9.2. Los movimientos de las plantas	236
9.3. Movimiento ameboidal	240

9.4. La morfogénesis repetitiva de estructuras especializadas	242
9.5. Sistemas nerviosos	245
9.6. Campos morfogenéticos, campos motores y campos conductuales	248
9.7. Los campos conductuales y los sentidos	254
9.8. Regulación y regeneración.	257
9.9. Campos mórficos	259
10. Instinto y aprendizaje	261
10.1. La influencia de las acciones anteriores	261
10.2. El instinto.	265
10.3. El estímulo signo	267
10.4. Aprendizaje	270
10.5. Tendencias innatas del aprendizaje	277
11. Herencia y evolución de la conducta	279
11.1. La herencia de la conducta.	279
11.2. La resonancia mórfica y la conducta. Una prueba experimental	282
11.3. La evolución de la conducta	291
11.4. La conducta humana	295
12. Cuatro posibles conclusiones	301
12.1. La hipótesis de la causación formativa	301
12.2. Una versión modificada del materialismo	302
12.3. El yo consciente	305
12.4. El universo creativo	310
12.5. La realidad trascendente	311
Apéndice A. Nuevas pruebas para determinar la resonancia mórfica	313
A1. Los condensados Bose-Einstein	314

A2. Puntos de fusión.	316
A3. Transformaciones de los cristales	324
A4. Adaptaciones en cultivos celulares	327
A5. Tolerancia al calor de las plantas	333
A6. La transmisión de la aversión	338
A7. La evolución de la conducta animal	344
A8. Memoria colectiva humana	350
A9. La mejora del desempeño humano	359
A10. Ordenadores resonantes	373
Apéndice B. Los campos mórficos y el orden implicado	381
Notas	403
Bibliografía	423
Índice.	441

PRÓLOGO A LA SEGUNDA EDICIÓN ESPAÑOLA

Este libro, cuya primera edición española vio la luz en 1989, gira en torno a la hipótesis de la causación formativa. En esta nueva edición, no sólo hemos revisado y actualizado el libro, sino que también hemos resumido los resultados de la reciente investigación realizada al respecto. El apéndice A presenta diez nuevas pruebas, mientras que el apéndice B incluye un diálogo en el que el autor y el físico David Bohm discuten sobre las relaciones existentes entre la causación formativa y la física moderna.

La hipótesis de la causación formativa sostiene que el funcionamiento de los organismos vivos está basado en los hábitos. Todos los animales y vegetales participan, al tiempo que contribuyen, al establecimiento de la memoria colectiva de su especie. Pero el funcionamiento basado en hábitos no se limita a los organismos, sino que también afecta a los cristales. La naturaleza, por otra parte, no se halla sujeta a leyes eternas perfectamente establecidas desde el momento del Big Bang, sino que sigue pautas de naturaleza fundamentalmente evolutiva. En este sentido, el proceso de la evolución cósmica discurre entre los extremos del hábito y la creatividad.

Los notables avances realizados, durante el último cuarto de siglo, en el ámbito de la biología, han aumentado la plausibilidad de esta hipótesis, poniendo de relieve al mismo tiempo las limitaciones de la visión convencional.

LAS LIMITACIONES DE LA BIOLOGÍA MECANICISTA

Durante la década de 1980, el tono de este libro no concordaba con el prevalente en el campo de la biología. El triunfo del mecanicismo parecía tan definitivo que había científicos que creían que la comprensión del código genético y el control de la síntesis proteica descubiertos por la biología molecular estaban a punto de revelarnos los secretos de la vida y que las nuevas técnicas de escáner cerebral no tardarían en permitirnos conocer el modo en que funcionaba la mente. La llamada “década del cerebro”, inaugurada en 1990 por el presidente George H.W. Bush, no sólo alentó el desarrollo de las neurociencias, sino que movilizó también el optimismo sobre el poder del escáner cerebral para revelarnos los secretos de nuestro ser más interno.¹

Entretanto, el entusiasmo por la inteligencia artificial despertó la expectativa de que las nuevas generaciones de ordenadores no tardarían en rivalizar con las capacidades mentales del ser humano, hasta llegar incluso a superarlas. Si pudiésemos programar, en las máquinas, la inteligencia y la conciencia, los misterios finales acabarían resolviéndose. En tal caso, la vida y la mente podrían explicarse en términos de maquinaria molecular y neuronal, el reduccionismo camparía a sus anchas y todos aquellos que siguieran creyendo en la existencia de algo que trascendía los límites de la ciencia se verían obligados a quedarse quietecitos y guardando silencio en un rincón.

Resulta difícil recordar el clima de excitación y entusiasmo que caracterizó los años ochenta, cuando la aparición de nuevas técnicas prometía la clonación de genes y el descubrimiento de la secuencia de las “letras” que componen el “código genético”. La biología parecía haber llegado a su punto culminante, a punto de descubrir el manual de instrucciones

de la vida que permitiría a los biólogos modificar genéticamente plantas y animales y enriquecerse hasta un punto anteriormente inimaginable. Los titulares de los periódicos informaban casi a diario de algún que otro descubrimiento “revolucionario”: «Los científicos han descubierto genes que ayudan a combatir el cáncer», «La terapia genética ofrece esperanza a las víctimas de la artritis», «Los científicos descubren el secreto del envejecimiento», etc.

La nueva genética parecía tan prometedora que el amplio espectro de los investigadores de las ciencias biológicas —desde la zoología hasta la microbiología— se aprestaron a aplicar sus novedosas técnicas a su especialidad. El avance fue tan espectacular que abrió la posibilidad, tan amplia como ambiciosa, de identificar la secuencia de los genes que componen el genoma humano. Como dijo Walter Gilbert, de la Universidad de Harvard: «La búsqueda del “Santo Grial” de nuestra identidad biológica está a punto de alcanzar su fase culminante. El objetivo último consiste en el logro de todos los detalles de nuestro genoma». Así fue como, en la década de 1990, se puso formalmente en marcha, con un presupuesto de 3.000 millones de dólares, el Proyecto del Genoma Humano.

Este proyecto reflejó también el deliberado intento de que la biología que, hasta entonces, se había movido en una dimensión más bien artesanal, empezase a ser considerada también una “gran ciencia”. El presupuesto destinado a la física era inmenso debido, en gran medida, a la Guerra Fría, que asignaba verdaderas fortunas al desarrollo de los misiles, la bomba de hidrógeno, la llamada “guerra de las galaxias”, los aceleradores de partículas, el programa espacial y el telescopio espacial Hubble. Los biólogos se habían pasado la vida envidiando a la física y anhelaban, en consecuencia, una época en la que la biología alcanzase un prestigio mere-

cedor de presupuestos igualmente multimillonarios. A todas estas expectativas pretendía responder el Proyecto del Genoma Humano.

La especulación también condujo, durante la década de 1990, a un *boom* en el sector biotecnológico que alcanzó su punto culminante en el año 2000. Pero es que, además del Proyecto del Genoma Humano oficial, Celera Genomics contaba con otro proyecto privado, dirigido por Craig Venter, cuyo objetivo consistía en patentar y gestionar comercialmente los derechos de centenares de genes humanos. No es de extrañar que su valor en el mercado, como el de muchas otras empresas dedicadas al ámbito de la biotecnología, se disparase, durante los primeros meses de 2000, hasta alcanzar cotas de auténtico vértigo.

Resulta paradójico que la rivalidad entre el proyecto público del genoma humano y el proyecto privado de Celera Genomics acabase provocando, antes de haber completado la identificación de la secuencia del genoma, el estallido de la burbuja biotecnológica. En marzo de 2000, los líderes del proyecto público del genoma declararon que toda la información que descubriesen sería de dominio público. Ese comentario llevó al presidente Clinton a afirmar, el 14 de marzo de 2000, que: «Nuestro genoma, el libro en el que está escrita la vida humana, pertenece a todos y cada uno de los miembros de la especie [...]. Debemos asegurarnos de que los beneficios de la investigación realizada sobre el genoma humano no se midan en dólares, sino en términos de la mejora de la vida humana».² Cuando la prensa informó de que el presidente pensaba restringir las patentes genómicas, la reacción de la bolsa fue espectacular. En palabras de Venter, hubo una «depresión terrible». En sólo dos días, Celera perdió 6.000 millones de dólares y el mercado biotecnológico cayó en picado, perdiendo unos 500.000 millones de dólares.³

Como respuesta a esta crisis, el presidente Clinton se vio obligado, al día siguiente de su discurso, a emitir un comunicado señalando que su afirmación no había pretendido tener el menor efecto sobre la patente de los genes o la industria biotecnológica. Pero lo cierto es que el daño ya estaba hecho. Posteriormente se patentaron muchos genes, pero fueron muy pocos los que resultaron beneficiosos para las empresas poseedoras de la patente.

El presidente Clinton y el primer ministro británico Tony Blair, junto a Craig Venter y Francis Collins, director del proyecto oficial del genoma humano anunciaron, el 16 de junio de 2000, la presentación del primer esbozo del genoma humano. En una conferencia de prensa que tuvo lugar en la Casa Blanca, el presidente Clinton dijo: «Hoy nos hemos reunido para celebrar la conclusión del primer estudio del genoma humano completo. No tengo la menor duda de que se trata del mapa más importante y maravilloso que haya producido nunca el ser humano».

Este asombroso logro ha modificado, aunque no del modo en que creíamos, la visión que tenemos de nosotros mismos. La primera gran sorpresa fue que hubiese tan pocos genes. En lugar de los 100.000 o más que se esperaban, el número final de cerca de 25.000 resultaba muy enigmático, y más todavía si los comparamos con los genomas de otros animales mucho más rudimentarios que el ser humano, como la mosca de la fruta (cerca de 17.000) y el erizo de mar (unos 26.000). Esos números se ven claramente superados por muchas especies de plantas como el arroz, por ejemplo, que tiene cerca de 38.000.

En el año 2001 Svante Paabo, director del proyecto del genoma del chimpancé, advirtió que, cuando se completase, sería posible comparar ambos genomas e identificar «los interesantes requisitos genéticos que nos diferencian de otros

animales». Pero cuando, cuatro años más tarde, acabó publicándose la secuencia del genoma del chimpancé, su comentario fue bastante menos elocuente: «Difícilmente podemos advertir, en todos estos datos, lo que nos diferencia tanto del chimpancé».⁴

El clima, durante estos primeros años del Proyecto del Genoma Humano, ha cambiado, pues, considerablemente. La vieja creencia afirmaba que, cuando los biólogos moleculares conocieran el “programa” que hace que un organismo sea lo que es, entenderíamos la vida. Pero lo cierto es que cada vez somos más conscientes del abismo que separa la secuencia genética del modo en que los organismos vivos crecen y se comportan. Ése es, precisamente, el abismo que el presente libro aspira a salvar.

Son varios, entretanto, los golpes que ha recibido el optimismo de los inversores. Después del estallido, en el año 2000, de la burbuja biotecnológica, muchas empresas que participaron en el auge que tuvo lugar durante los noventa, acabaron abandonando el sector o viéndose devoradas por las grandes organizaciones farmacéuticas o químicas. Pocos años después, los resultados económicos resultaban todavía más desalentadores. Un artículo publicado en 2004 en *Wall Street Journal* se titulaba «Terrible balance para las empresas del mercado biotecnológico. Las pérdidas superan los 40.000 millones de dólares».⁵ El artículo en cuestión afirmaba que, «aunque la biotecnología [...] todavía puede convertirse en un motor del desarrollo económico y curar enfermedades mortales, resulta difícil seguir creyendo que se trate de una buena inversión. No es tan sólo que lleva décadas obteniendo números rojos, sino que el balance parece ser cada vez más negativo».

A pesar de estos decepcionantes resultados económicos, la inmensa inversión en biología molecular y biotecnología ha tenido efectos muy diversos en la práctica de la biología,

aunque sólo sea por la creación, en ese ámbito, de muchos empleos. La extraordinaria demanda de graduados en biología molecular y en doctorados en este campo ha transformado por completo la enseñanza de la biología. El enfoque molecular predomina en la actualidad en las universidades y los institutos. Entretanto, las páginas de publicaciones científicas punteras como *Nature* están saturadas de publicidad de aparatos que se dedican a secuenciar genes, sistemas de análisis de proteínas e instrumentos de clonación celular.

Pero el énfasis en el enfoque molecular evidencia cada vez más sus limitaciones. La secuenciación de los genomas de un número cada vez mayor de especies de animales y plantas, junto a la determinación de las estructuras de miles de proteínas, están llevando a los biólogos moleculares a verse desbordados por sus propios datos. Y no hay prácticamente límite al número de genomas que pueden secuenciarse o proteínas que pueden analizarse. Los biólogos moleculares confían cada vez más en que los especialistas del nuevo campo de la bioinformática acabarán recopilando y dando sentido a una masa desbordante de información que carece de precedentes en la historia. Pero parece bastante improbable que los informáticos, que poco o nada saben de biología, puedan proporcionarnos intuiciones iluminadoras que quedan fuera del alcance de los biólogos moleculares.

Son otras las sorpresas que nos han deparado los avances realizados en el campo de la biología molecular. Durante la década de 1980 hubo una gran excitación cuando se descubrió, en la mosca de la fruta, una familia de genes llamados genes "homeobox". Estos genes determinan el lugar en que se instalarán, en el embrión o la larva, las extremidades u otros elementos del cuerpo y parecen controlar la pauta de desarrollo de diferentes partes del cuerpo. Mutaciones en estos genes pueden acabar desembocando en el desarrollo de

partes del cuerpo extras y no funcionales.⁶ A nivel molecular, los genes homeobox operan a modo de plantillas para la fabricación de proteínas que desencadenan cascadas de otros genes. Al comienzo, se creyó que proporcionaban el fundamento de una explicación molecular de la morfogénesis y se consideró que era en ellos, precisamente, donde se hallaban los interruptores genéticos.

Pero las investigaciones realizadas en otras especies no tardaron en poner de manifiesto la extraordinaria semejanza existente, en animales completamente diferentes, de esos sistemas de control molecular. Son casi idénticos en las moscas, los reptiles, los ratones y los seres humanos. Así pues, aunque los genes homeobox desempeñen un papel muy importante en la determinación del plan corporal, no pueden, en sí mismos, explicar la forma de los organismos. Su similitud en los casos de la mosca de la fruta y del ser humano no pueden explicar las evidentes diferencias existentes entre ambos organismos.

Ha sido muy sorprendente descubrir que la diversidad de planes corporales existente entre grupos de animales muy diferentes no parece reflejarse en el mismo grado de diversidad genética. Como han señalado dos grandes biólogos moleculares del desarrollo: «Donde más variabilidad esperábamos encontrar es donde hallamos, precisamente, todo lo contrario, es decir, conservación y falta de cambio».⁷

El estudio de los genes implicados en la regulación del desarrollo forma parte del nuevo campo denominado biología evolutiva del desarrollo o, abreviadamente, evo-devo. Una vez más, el triunfo de la biología molecular ha demostrado que la morfogénesis, es decir, la creación de formas concretas, sigue eludiendo la explicación molecular. Por ello, la idea de campo morfogenético resulta, en la actualidad, más importante que nunca.

LOS CAMPOS MORFOGENÉTICOS Y LOS CAMPOS MÓRFICOS

En este libro hablamos de campos morfogenéticos, es decir, de los campos que organizan las moléculas, los cristales, las células y, en realidad, todos los sistemas biológicos. También hablamos de los campos que organizan la conducta animal y la conducta de los grupos sociales. Así, mientras que los campos morfogenéticos influyen en la forma, los campos conductuales influyen en la conducta. Los campos que organizan los grupos sociales, como las bandadas de pájaros, los bancos de peces y las colonias de termitas se denominan campos sociales. Todos esos campos son campos *mórficos*, que poseen una memoria interna establecida por resonancia mórfica. Los campos morfogenéticos, es decir, los campos que organizan la génesis de la forma, constituyen una modalidad mayor de los campos mórficos, como especies dentro de un género. En mi libro *La presencia del pasado*,⁸ exploro la naturaleza mayor de los campos mórficos en sus contextos conductual, social y cultural y sus implicaciones para la comprensión de la memoria tanto animal como humana. En él sugiero que nuestra memoria no depende tanto de rastros materiales almacenados en nuestro cerebro como del fenómeno de la resonancia mórfica.

LA RELACIÓN DE LOS CAMPOS MORFOGENÉTICOS CON LA FÍSICA MODERNA

Una de las paradojas de la ciencia del siglo XX fue que la teoría cuántica provocó un cambio revolucionario de perspectiva en el campo de la física, que puso de relieve los límites de la visión reduccionista, mientras la biología, por el

contrario, se movía en la dirección contraria, alejándose de los enfoques holísticos y acercándose a un reduccionismo cada vez más estrecho. Como dijo, en cierta ocasión, el físico cuántico Hans-Peter Dürr:

«El énfasis original en la totalidad al considerar los seres vivos, su forma y su *gestalt* se ha visto reemplazado por una descripción fragmentadora y funcionalista en la que la explicación de la secuencia de eventos se centra en las sustancias, la materia y sus bloques de construcción, las moléculas y sus interacciones. Pero lo más sorprendente de este acercamiento del holismo e incluso del vitalismo a la biología molecular es que, pocas décadas después (y no antes), tuvo lugar, durante el primer tercio del siglo pasado, en el ámbito de la microfísica, es decir, en los fundamentos de la ciencia natural, un profundo cambio en la dirección opuesta. Ese cambio puso de manifiesto las limitaciones de la visión fragmentadora y reduccionista, al tiempo que evidenció, en la sustancia divisible, aspectos curiosamente holísticos».⁹

Muchos biólogos siguen tratando de reducir el fenómeno de la vida y de la mente a la física mecanicista del siglo XIX, pero lo cierto es que la física ha seguido avanzando más allá de ese punto. Y la verdad es que la física cuántica proporciona, a los campos mórficos, un entorno mucho más acogedor que la física clásica. De algún modo, los campos mórficos deben interactuar directamente con los campos electromagnéticos y cuánticos, imponiendo pautas sobre sus, de otro modo, difusas actividades..., aunque todavía no está claro el modo concreto en que tiene lugar esta interacción. Un posible punto de partida al respecto quizás se halle en la noción de “orden implicado” esbozada por el físico cuántico David Bohm:

«En el orden envuelto o implicado, el espacio y el tiempo ya no son los factores determinantes de la relación de dependencia o independencia existente entre los diferentes elementos. Entonces es posible un tipo completamente diferente de conexión básica entre los elementos que, trascendiendo tanto nuestra idea ordinaria del espacio y el tiempo como la idea de la existencia de partículas materiales entrelazadas que existen de manera separada, constituyen formas derivadas de un orden más profundo. Estas nociones ordinarias aparecen, de hecho, en lo que se denomina orden “explicado” u orden “desplegado”, que es una forma especial y diferente contenida dentro de la totalidad general del orden implicado.»¹⁰

El orden implicado presupone un tipo de memoria que se expresa a través de los campos cuánticos y que, hablando en términos generales, resulta compatible con las ideas expuestas en este libro. Los lectores interesados pueden ver, en el apéndice B de este libro, un diálogo entre el autor y David Bohm en torno a los temas de la resonancia mórfica y el orden implicado.

Hans-Peter Dürr también ha señalado el modo en que «los procesos de la física cuántica pueden, en principio, encerrar un potencial provechoso para explicar los campos mórficos de Sheldrake».¹¹

Otra posible relación entre la resonancia mórfica y los campos mórficos y la física moderna giraría en torno a dimensiones extras del espacio y el tiempo. Aunque el pensamiento que depende del sentido común se limite a las tres dimensiones del espacio características de la física newtoniana, la física ha avanzado y seguido agregando nuevas dimensiones. En su teoría de la relatividad general de 1915, Einstein nos presenta un espacio-tiempo tetradimensional.

Durante la década de 1920, la teoría de Kaluza-Klein expandía, en un intento de descubrir una teoría que unificase los campos gravitatorio y electromagnético, el espacio-tiempo a cinco dimensiones. La moderna expectativa de unificar los campos conocidos de la física, incluidas las fuerzas nucleares fuerte y débil, se centra hoy en día fundamentalmente en la teoría de las supercuerdas, que habla de diez dimensiones, o en la teoría M (abreviatura de teoría Master), que habla de once.¹²

Aunque el valor de la teoría de las supercuerdas y de la teoría M resulte discutible y todavía se halle en proceso de desarrollo, su misma existencia demuestra que esas dimensiones extras ya no caen dentro del dominio de la especulación esotérica, sino que forman parte de la corriente principal de la física moderna. Pero ¿qué valor tienen esas dimensiones adicionales y qué es lo que implican? Algunos físicos afirman que incluyen “campos de información” y que bien podrían contribuir, en consecuencia, a explicar los fenómenos de la vida y de la mente.¹³

Otro posible punto de conexión entre los campos mórficos y la física moderna tiene lugar a través del campo del vacío cuántico. Según la teoría cuántica estándar, todas las fuerzas eléctricas y magnéticas se ven mediadas por fotones virtuales que, emergiendo del campo del vacío cuántico, acaban desapareciendo en él. Todas las moléculas, pues, de los organismos vivos, todas las membranas celulares, todos los impulsos nerviosos y, en realidad, todos los procesos electromagnéticos y químicos dependen de fotones virtuales que emergen y se desvanecen dentro del campo vacío de la naturaleza que todo lo impregna. ¿Podrían los campos mórficos interactuar con los procesos físicos y químicos regulares a través del campo del vacío? Esto es, al menos, lo que especulan y llegan incluso a afirmar algunos teóricos.¹⁴

Este tipo de teorías puede ayudarnos a vincular los campos mórficos y la resonancia mórfica a la física del futuro. Nadie sabe, por el momento, el tipo de relación que existe entre la morfogénesis y la física, convencional o no convencional.

LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas experimentales de la resonancia mórfica que propuse en la primera edición de este libro se movían fundamentalmente en los dominios de la química y de la biología. Pero el mayor interés que despertó tuvo que ver con el reino de la psicología humana. Según la hipótesis de la resonancia mórfica, los seres humanos apelan a una memoria colectiva, de modo que algo aprendido por personas en un determinado lugar acaba facilitando el aprendizaje de personas ubicadas en el resto del mundo.

En 1982, la revista británica *New Scientist* patrocinó un concurso de recopilación de ideas para verificar esta hipótesis y todas las ideas ganadoras procedían del ámbito de la investigación psicológica. Al mismo tiempo, un grupo de expertos estadounidenses, el Tarrytown Group de Nueva York, ofreció un premio de 10.000 dólares para la prueba que mejor sirviera para corroborar esta hipótesis. De nuevo, en este caso, los ganadores procedían del reino de la psicología y proporcionaron evidencias que apoyaban la hipótesis de la resonancia mórfica. Todos estos resultados se vieron recopilados en mi segundo libro, titulado *La presencia del pasado* (1988).

En el apéndice A, presento los resultados de la reciente investigación realizada sobre la resonancia mórfica en los ámbitos de la psicología y la conducta animal y ofrezco un abanico de nuevas pruebas sobre la resonancia mórfica en los

ámbitos de la física, la química, la biología, la psicología y la informática.

UNA NUEVA MANERA DE HACER CIENCIA

Desde la década de 1990, la mayor parte de mi investigación experimental se ha centrado en el papel desempeñado por los campos mórficos en la conducta social de los animales y el ser humano. En mis libros *Siete experimentos que pueden cambiar el mundo* (1994), *De perros que saben que sus amos están camino de casa* (1999) y *El séptimo sentido* (2003), resumo los estudios que, al respecto, he realizado sobre aspectos inexplicables de la conducta animal y humana. Estas investigaciones están más ligadas a los aspectos espaciales de los campos mórficos que a la resonancia mórfica, que es la que proporciona a estos campos su dimensión temporal o histórica.

Esta investigación es radical en dos sentidos diferentes, porque no sólo esboza un nuevo tipo de pensamiento científico, sino una nueva manera también de *hacer* ciencia. Éste es el tema principal que he abordado en *Siete experimentos que pueden cambiar el mundo*. Muchos de los experimentos destinados a verificar los campos mórficos son sencillos y baratos y demuestran que la ciencia ya no se halla necesariamente supeditada al monopolio del sacerdocio científico. La investigación realizada en las fronteras de la ciencia se encuentra actualmente abierta a la participación de estudiantes y de no profesionales.

Son ya miles los no profesionales que han contribuido a esta investigación, proporcionando historias relacionadas con capacidades inexplicadas de los animales y de los seres humanos, en pruebas en las que participan animales tales como perros, gatos, caballos y loros, y en experimentos con sus fa-

miliares y amigos o con compañeros de la escuela, el instituto o la universidad. Son decenas los proyectos esbozados por estudiantes sobre temas ligados a los campos mórficos, incluidos varios que han ganado premios en competiciones científicas. La mayor parte de esta investigación está resumida en *De perros que saben que sus amos están camino de casa* y *El séptimo sentido*.

Entretanto, cualquier lector que quiera participar en mi experimentación actual puede hacerlo a través del portal Online Experiments de mi *website* www.sheldrake.org. Algunos de los experimentos que presento ahí requieren el uso de Internet, mientras que, en otros, basta simplemente con el uso del teléfono móvil. Se trata de pruebas que pueden convertirse perfectamente en tareas para casa del instituto o de la universidad. Son divertidas de hacer, ilustran los principios de la estadística y del control experimental y constituyen una valiosa contribución a la investigación que, al respecto, está llevándose a cabo.

Parte de la investigación científica más innovadora se hallaba, en el pasado, en manos de aficionados. Charles Darwin, por ejemplo, jamás ocupó un cargo institucional, sino que trabajaba independientemente en su casa estudiando percebes, criando palomas y experimentando en el jardín con sus hijos. Él fue uno de los muchos investigadores independientes que, sin contar con una subvención ni estar sometido a la obligación de la presión conservadora de una revisión llevada a cabo por pares anónimos, hizo un trabajo sumamente original. Ese tipo de libertad resulta, en la actualidad, casi inexistente. La ciencia, desde finales del siglo XIX, ha ido profesionalizándose y, desde la década de 1950, ha habido una gran expansión de la investigación institucional. Pero son muy pocos, en la actualidad, los científicos independientes, el más conocido de los cuales es James Lovelock, el principal defensor de la hipótesis Gaia.

Cada vez son más favorables, sin embargo, las condiciones para una participación más generalizada en la ciencia. Son centenares de miles de personas las que hoy en día poseen una formación científica. El poder de la informática que, hasta no hace mucho, era patrimonio exclusivo de las grandes empresas resulta hoy accesible a casi todo el mundo. Internet posibilita un acceso a la información que, en las últimas décadas, resultaba impensable, al tiempo que proporciona un medio de comunicación que carece también de precedentes. Son muchas además, en la actualidad, las personas que tienen tiempo libre. Cada año, miles de estudiantes emprenden, como parte de su proceso de formación, proyectos de investigación científica y, en algunos casos, se trata de oportunidades auténticamente pioneras. Y son muchas las redes y asociaciones informales ilustrativas de modelos de comunidades de investigadores que se mueven por su cuenta, tanto dentro como fuera de las instituciones científicas.

La ciencia puede volver, como sucedió en sus estadios más creativos, a alimentarse de raíces. Y la investigación puede desarrollarse a partir del interés personal sobre la naturaleza de la naturaleza y del interés que moviliza a muchas personas hacia el estudio de la ciencia, antes de que se vea sofocada por las presiones de la vida institucional. Afortunadamente, el interés por la naturaleza es más intenso en los aficionados que en los profesionales.

Yo creo que la ciencia tiene que democratizarse, pero no sólo en las regiones fronterizas de la investigación controvertida, sino en otros dominios más convencionales. La ciencia, independientemente de que se haya movido en regímenes monárquicos, en estados comunistas o en democracias liberales, siempre ha sido elitista y poco democrática. En la actualidad, sin embargo, resulta cada vez más jerárquica, un rasgo que debe solucionarse.

El tipo de investigación que puede llevarse actualmente a cabo no tiene tanto que ver con la imaginación como con los comités de asignación de fondos. Y, lo que resulta todavía más importante, es que el poder de esos comités se concentra cada vez más en manos de viejos científicos con veleidades políticas, funcionarios del gobierno y representantes de las grandes empresas. Los jóvenes graduados con contratos provisionales constituyen una subclase científica cada vez más poblada. En Estados Unidos, la proporción de becas biomédicas otorgadas a los investigadores de menos de treinta y cinco años cayó en picado desde el 23% en 1980 hasta el 4% en 2003. Y hay que decir que ésas son malas noticias porque, en la medida en que la ciencia tiene más que ver con el ascenso en el escalafón profesional de la empresa y menos con surcar los cielos de la mente, la desconfianza pública en los científicos y en su trabajo parece crecer.

Una encuesta realizada en el año 2000 por el Gobierno británico sobre la actitud del público hacia la ciencia reveló que la mayoría de las personas creían que «la ciencia se halla impulsada por la empresa, ya que, en última instancia, todo tiene que ver con ganar dinero». Tres cuartas partes de los entrevistados coincidían en que «es importante la existencia de científicos que no estén atados al mundo empresarial». Más de dos terceras partes pensaban que «los científicos deberían escuchar más lo que piensa la gente normal y corriente». Preocupado por este alejamiento del público, el Gobierno británico afirmó estar interesado, en 2003, en fomentar «el diálogo entre la ciencia, la política y el público». En los círculos oficiales, la moda cambió de un modelo del “déficit” en la comprensión pública de la ciencia –que considera que la clave de todo radica en la educación– a un modelo de “compromiso” entre la ciencia y la sociedad.

Para movilizar, no obstante, la implicación del público no

científico, no hay que dejar exclusivamente la decisión de asignar los fondos en manos de un comité de expertos. Durante los años 2003 y 2004 presenté una propuesta, todavía más radical, en las revistas *New Scientist*¹⁵ y *Nature*,¹⁶ respectivamente, que consistía en dedicar un pequeño porcentaje del presupuesto público dedicado a la ciencia, un 1%, pongamos por caso, a investigaciones propuestas por personas legas.

¿Qué cuestiones serían de interés general? ¿Por qué no preguntárselo? ¿Por qué no recavar la opinión al respecto de organizaciones benéficas, escuelas, autoridades locales, sindicatos, grupos medioambientales y asociaciones de jardinería? Es muy probable que la misma propuesta de investigación alentase, dentro de las distintas organizaciones, un debate de largo aliento que incentivase, en muchos sectores de la población, la sensación de participación.

Para evitar que ese 1% se viese devorado por el *establishment* científico, debería ser administrado, como sucede en muchas investigaciones de orden benéfico, por una junta compuesta por no científicos. De este modo, la financiación no se hallaría restringida a las áreas ya cubiertas por el 99% de los fondos públicos destinados a la ciencia. Y podría mantenerse, por ejemplo, durante un plazo de cinco años y abandonarse en el caso de que se demostrase su inutilidad. Pero si, por el contrario, el experimento en cuestión tiene resultados positivos, despierta la confianza pública en la ciencia o alienta el interés entre los estudiantes, podría aumentarse el presupuesto asignado a esa partida. Creo que esta nueva aventura convertiría a la ciencia en algo más atractivo para los jóvenes, estimularía el interés en el pensamiento científico y en la corroboración de hipótesis y contribuiría también a romper el lamentable divorcio existente entre la ciencia y el público en general.

CONTROVERSIAS

La publicación, en 1981, de la primera edición inglesa de *Una nueva ciencia de la vida* despertó un gran debate sobre las nociones de campo morfogenético y de resonancia mórfica. Al cabo de varios meses, un editorial hoy en día muy conocido apareció en la primera página de *Nature*. Bajo el título «¿Un libro para la hoguera?», el editor condenaba mis propuestas en un ataque sin paliativos:

«Ni los malos libros deberían ser quemados. Libros como *Mein Kampf* han acabado convirtiéndose en documentos históricos para personas interesadas en la patología política. Pero ¿qué podríamos decir con respecto al libro del doctor Rupert Sheldrake titulado *Una nueva ciencia de la vida*? Este irritante panfleto se ha visto ampliamente aclamado por periódicos y revistas de divulgación científica como la “respuesta” a la ciencia materialista y está en camino de convertirse en punto de referencia para la variopinta muchedumbre de creacionistas, antirreduccionistas, neolamarckianos, etc. El autor, formado como bioquímico y evidentemente un hombre culto, está, sin embargo, equivocado. Su libro es el mejor candidato a la hoguera que he visto en muchos años.»¹⁷

El editor no esgrimía, en contra de las hipótesis que yo esbozaba, ningún argumento razonable. En lugar de ello, depositaba todas sus expectativas en manos de los futuros avances realizados por la biología molecular:

«La tesis de Sheldrake parte de su clasificación del modo en el que los biólogos moleculares y las fuerzas de asalto de todo tipo de reduccionistas se han mostrado incapaces, hasta el momento, partiendo del conocimiento del genotipo de un

simple organismo, de calcular su fenotipo. ¿Y qué? ¿Acaso no han mostrado con suficiente claridad, los descubrimientos realizados en los últimos veinte años, que las explicaciones moleculares de la mayoría de los fenómenos biológicos son, contrariamente a cualquier expectativa previa, no sólo posibles, sino también convincentes?»

El jefe de redacción, John Maddox (en la actualidad, sir John Maddox), desdeñó también mi otra propuesta de asignación de fondos a experimentos alternativos como «imposible de llevar a la práctica, porque no habrá instancia respetable que la tome seriamente en cuenta».

El editorial en cuestión desencadenó una larga correspondencia en *Nature*, que prosiguió durante varios meses, en la que muchos científicos no sólo desaprobaban la manifiesta intolerancia de ese ataque, sino que sostenían también la necesidad de un pensamiento radical sobre los problemas sin resolver de la ciencia.¹⁸ Una de las cartas enviadas a *Nature* procedía de Brian Josephson, Premio Nobel en Física cuántica, que decía:

«Los rápidos avances realizados en el campo de la biología molecular a los que usted se refiere no significan gran cosa. Cuando uno está de viaje, el avance rápido no implica que uno se halle más cerca de su destino, ni que el destino se halle siquiera en ese mismo camino. En lo que se refiere al argumento de las “instancias respetables”, debo subrayarle que parece usted mostrar un mayor interés en la respetabilidad que en la validez científica. La debilidad fundamental de sus argumentos se asienta en su fracaso en admitir la posibilidad siquiera de hechos físicos que queden fuera del alcance de la actual descripción de la ciencia. Y debe saber que, en este sentido, hoy en día están emergiendo un nuevo

tipo de visión de la naturaleza basada en conceptos tales como orden implicado y realidad dependiente del sujeto (y quizás también incluso causalidad formativa) que todavía no han podido llegar a ocupar un lugar en las revistas punteras. Sólo cabe esperar que los editores dejen pronto de obstaculizar estos avances.»¹⁹

En 1994, la BBC entrevistó a Maddox sobre su exabrupto. Durante esa entrevista en la que, por cierto, insistió en su misma argumentación, dijo: «Sheldrake está haciendo magia en lugar de ciencia y, por ello, puede ser condenado del mismo modo y por la misma razón por la que el Papa condenó a Galileo. Lo suyo es una herejía».²⁰ Quizás Maddox no se hubiese enterado todavía de que, un par de años antes, el 15 julio 1992, el papa Juan Pablo II había declarado formalmente que, en su condena a Galileo, la Iglesia se había equivocado.

Fueron muchos, en los países que habla alemana, los artículos y debates sobre esta hipótesis escritos, entre otros, por científicos, filósofos y psicólogos. Algunas de esas reacciones acabaron recopilándose en un libro publicado, en 1997, en alemán y titulado *Rupert Sheldrake in der Diskussion*.²¹

También fueron muchas, durante las dos últimas décadas del siglo pasado, las personas que, desde dentro de la comunidad científica, como el editor de *Nature*, que confiaban en que la futura investigación sobre la secuencia genética y los mecanismos moleculares acabaría revelando casi todo lo que necesitamos saber sobre la vida, explicaría los misterios de la forma biológica, la conducta instintiva, el aprendizaje e incluso la conciencia. Varios científicos punteros creían que la ciencia estaba a punto de llegar a su culminación última y que todos los descubrimientos importantes se habían llevado ya a cabo. Ése era el clima imperante resumido, en 1996, en

el *best seller* de John Horgan titulado *El fin de la ciencia*. En palabras del mismo Horgan:

«Si uno cree en la ciencia, debe aceptar la posibilidad –y hasta la probabilidad– de que la era de los grandes descubrimientos científicos haya concluido. Y, cuando hablo de ciencia, no me refiero a la ciencia aplicada, sino a la ciencia pura y dura, a la búsqueda humana primordial de una comprensión del universo y del lugar que ocupamos en él. La investigación futura no puede conducir a más revelaciones o revoluciones, sino tan sólo a pequeños avances y retrocesos.»²²

Afortunadamente, sin embargo, la ciencia no ha llegado –pese a la secuenciación completa del genoma humano, la expansión de las bases de datos de la biología molecular, el apogeo del escáner cerebral, los cálculos de los teóricos de las supercuerdas y el descubrimiento de que cerca del 90% del universo está compuesto de materia oscura y de energía oscura cuya naturaleza es, en consecuencia, literalmente oscura– a ningún punto final.

Los problemas sin resolver de la biología que incluimos en el capítulo uno cuando, en 1981, vio la luz la primera edición de este libro, siguen sin estarlo hoy en día. Y también, del mismo modo, están sin responder las muchas cuestiones discutidas en este libro. Sólo el tiempo acabará determinando, en este sentido, la utilidad de la hipótesis de la causalidad formativa.

Hasta entonces, el tema seguirá siendo inevitablemente muy controvertido. El debate continúa y, leyendo este libro, usted podrá participar en él.

Son muchas las personas que, a través de discusiones, comentarios, sugerencias y críticas, me han ayudado en el desarrollo y la corroboración sostenida de la hipótesis de la causación formativa. Quisiera, en particular, dar las gracias a Ralph Abraham, Patrick Bateson, Dick Bierman, Stephen Braude, John Brockman, David Jay Brown, Christopher Clarke, Stephen Cohen, De Hans-Peter Dürr, Lindy Dufferin y Ava, Ted Dance, Suitbert Ertel, Addison Fischer, Matthew Fox, Francis Huxley, Brian Godwin, Franz Theo Gottwald, el difunto Stephen Jay Gould, Nicholas Humphrey, Stephan Harding, el difunto Willis Harman, Jürgen Krönig, David Lambert, Kattinka Matson, el difunto Terence McKenna, John Mitchell, Carl Neumann, el difunto Brendan O'Reagan, Jill Purce, Anthony Ramsay, Dean Radin, Janis Rozé, Keith Roberts, Steve Rooke, Steven Rose, Alexander Shulgin, Edward St Aubyn, Gary Schwartz, Martin Schwartz, Merlin Sheldrake, el difunto Francisco Varela y Götz Wittneben.

También estoy muy agradecido a Matthew Clapp, que, en 1997, puso en marcha mi *website* www.sheldrake.org y desempeñó en ella la función de *webmaster* hasta 2002; a mi *webmaster* actual, John Caton, que, desde 2002, se ha ocupado de mi *website*, y a Helmut Lasarczyk, mi *webmaster* alemán, que también ha traducido para mí muchas cartas, artículos y escritos. También estoy muy agradecido a mi ayudante de investigación Pam Smart, que ha trabajado conmigo desde 1994 y me ha ayudado de formas tan diferentes.

Doy las gracias al apoyo financiero y organizativo para llevar a cabo mi investigación proporcionado por el Instituto de Ciencias Noéticas (California), el Centro Internacional de Estudios Integrales (Nueva York), la Fundación Schweisfurth (Alemania), la Fundación Lifebridge (Nueva York), la Fundación Bial (Portugal), la Fundación Fred (Holanda) y la Perot-Warrick Fund, administrada por el Trinity College (Cam-

bridge). También estoy muy agradecido a los siguientes benefactores por su abundante apoyo: el difunto Laurance Rockefeller, el difunto Bob Schwart, de Nueva York, el difunto C.W. («Ben») Webster, de Toronto, Evelyn Hancock, de Old Greenwich (Connecticut), Bokhara Legendre, de Medway (Carolina del Sur), Ben Finn, de Londres, y Addison Fischer, de Naples (Florida).

Por sus útiles comentarios acerca de los borradores de esta nueva edición, doy también las gracias a Ted Dace, Helmut Lasarcyk, Jill Purce y Götz Wittneben. Y estoy muy agradecido, por último, a Merlin Sheldrake por los dibujos de las figuras 20, A.2, A.3, A.4 y A.5, y a Suitbert Ertel por su permiso para reproducir la figura A.7.

Londres, julio de 2010

INTRODUCCIÓN

El estudio ortodoxo de la biología se asienta, en la actualidad, en una visión mecanicista de la vida, según la cual, los seres vivos son máquinas físico-químicas y los fenómenos vitales pueden explicarse en términos físicos y químicos.¹ Este paradigma mecanicista² no es, en modo alguno, nuevo, puesto que su vigencia se remonta, de hecho, a hace más de un siglo. Y la razón por la que la mayoría de biólogos siguen aferrándose a él es porque da buenos resultados y nos proporciona un marco de referencia que permite formular y resolver preguntas sobre los mecanismos físicos y químicos que afectan a los procesos vitales.

El hecho de que, con este método, se hayan obtenido resultados tan espectaculares como el “desciframiento del código genético” constituye un excelente argumento a su favor. A pesar de ello, sin embargo, hay quienes han esbozado buenas razones para poner en cuestión la idea de que todos los fenómenos de la vida, incluida la conducta humana, puedan explicarse en términos estrictamente mecanicistas.³ Pero, aun en el caso de que admitiésemos que el método mecanicista adolece de serias limitaciones, no sólo prácticas sino también teóricas, no deberíamos, por ello, abandonarlo. Se trata, por el momento, del único enfoque con que contamos dentro del campo de la biología experimental y, mientras no dispongamos de alguna alternativa positiva, seguiremos viéndonos obligados a utilizarlo.

Cualquier teoría que pretenda desbancar al enfoque mecanicista deberá hacer algo más que afirmar que la vida posee

cualidades o factores no contemplados, hasta el momento, por la ciencia actual, señalando cuáles son esas cualidades y esos factores, cómo funcionan y cuál es la relación que mantienen con los procesos físicos y químicos conocidos.

La forma más sencilla de modificar la teoría mecanicista consistiría en suponer que el fenómeno de la vida depende de un nuevo tipo de factor causal, desconocido por las ciencias físicas, que interacciona con los procesos físicos y químicos de los organismos vivos. Y, por más que sean varias las versiones de esta teoría vitalista que, durante el presente siglo, se han propuesto,⁴ ninguna de ellas ha llegado a esbozar predicciones susceptibles de ser demostradas o a sugerir nuevos tipos de experimentos. Si, por citar a sir Karl Popper, «el criterio del *status* científico de una teoría reside en su falsabilidad, su refutabilidad o su demostrabilidad»,⁵ los resultados proporcionalados al respecto por el vitalismo no han sido especialmente satisfactorios.

La filosofía organicista u holística proporciona un contexto para la que podría ser una revisión todavía más radical del abordaje mecanicista. Esta filosofía niega la posibilidad de explicar el universo de abajo arriba, es decir, en términos de las propiedades de los átomos o de cualquier partícula material hipotética. Muy al contrario, reconoce la existencia de sistemas jerárquicamente organizados que, en cada nivel de complejidad, poseen propiedades que no pueden entenderse por completo en términos de las propiedades exhibidas de forma aislada por sus distintas partes, ya que, en cada uno de los diferentes niveles, la totalidad siempre es mayor que la suma de las partes que la constituyen. Podemos pensar en estas totalidades como “organismos”, utilizando este término en un sentido deliberadamente lato que no sólo incluya a los animales, las plantas, los órganos, los tejidos y las células, sino también los cristales, las moléculas, los átomos y las partículas

subatómicas. Esta filosofía propugna, en efecto, un cambio del paradigma de la máquina al paradigma del organismo en los ámbitos de las ciencias biológicas y de las ciencias físicas, que tiene en cuenta la conocida frase de Alfred North Whitehead, «la biología estudia los organismos superiores, mientras que la física estudia los organismos inferiores».⁶

Muchos han sido los autores, incluidos biólogos que, desde la década de 1920, han defendido versiones diferentes de esta filosofía organicista.⁷ Pero si el organicismo quiere acabar ejerciendo una influencia más que superficial en el campo de las ciencias naturales, debe ser capaz, cosa que todavía no ha hecho, de generar predicciones que puedan ser demostradas.⁸

Y las razones de este fracaso pueden atisbarse con más claridad en las áreas de la biología más influidas por la filosofía organísmica, como la embriología y la biología evolutiva. El concepto más importante esbozado, hasta el momento, por el abordaje organicista es el de *campo morfogenético*,⁹ que, según se supone, puede contribuir a explicar o describir el advenimiento de las formas características de los embriones y otros sistemas en proceso de desarrollo. El problema radica en el uso ambiguo de este concepto. El mismo término parece implicar la existencia de un nuevo tipo de campo físico que desempeña un papel en el desarrollo de la forma. Pero algunos teóricos organicistas niegan que estén sugiriendo la existencia de un nuevo tipo de campo, entidad o factor no reconocido, hasta el momento, por los físicos.¹⁰ Muy al contrario, sostienen que el uso de la terminología organicista proporciona una nueva forma de *pensar en los sistemas físico-químicos complejos*.¹¹ Probablemente se trate de un método que no tenga mucho futuro. El concepto de campos morfogenéticos sólo puede tener un valor científico práctico si conduce a predicciones susceptibles de demostración que difieran

de las esbozadas por la teoría morfogénica convencional. Y tales predicciones no pueden llevarse a cabo a menos que consideremos que los campos morfogénicos tienen efectos mensurables.

La hipótesis sugerida en este libro se basa precisamente en la idea de que los campos morfogénicos tienen, en realidad, efectos físicos mensurables. Esa hipótesis afirma que los campos morfogénicos específicos son responsables de la forma y organización características de los sistemas, en todos sus niveles de complejidad, no sólo dentro del campo de la biología, sino también de la química y la física. Estos campos organizan los sistemas con los que están asociados influyendo en sucesos que, desde una perspectiva energética, parecen hallarse indeterminados o moverse en una dimensión probabilística e imponen ciertas restricciones sobre los posibles resultados energéticos de los procesos físicos.

Pero, si los campos morfogénicos son responsables de la organización y de la forma de los sistemas materiales, deben presentar en sí mismos, estructuras características. ¿De dónde proceden estas estructuras y estos campos? En nuestra opinión, se derivan de campos morfogénicos asociados a sistemas similares anteriores: los campos morfogénicos de todos los sistemas del pasado se tornan *presentes* ante cualquier sistema similar posterior; las estructuras de los sistemas pasados influyen en sistemas posteriores similares debido a una influencia acumulativa que actúa tanto a través del espacio como del tiempo.

Los sistemas, según esta hipótesis, se organizan del mismo modo en que, en el pasado, se organizaron sistemas similares. Las moléculas de un determinado compuesto químico complejo, por ejemplo, cristalizan ateniéndose a una determinada pauta debido al hecho de que esa sustancia cristalizó anteriormente siguiendo esa misma pauta, una planta asume la

forma característica de su especie debido a que los miembros pasados de la especie asumieron esa misma forma y un animal actúa instintivamente de un determinado modo porque animales similares se comportaron antes de igual forma.

La hipótesis se ocupa de la *repetición* de formas y pautas de organización y la cuestión del *origen* de estas formas y de esas pautas queda fuera de su alcance. Pero, aunque esta cuestión pueda ser respondida de varias formas diferentes, todas ellas parecen igualmente compatibles con las modalidades de repetición sugeridas.¹²

Es posible, partiendo de esta hipótesis, esbozar predicciones corroborables que difieren de manera considerable de las formuladas desde la perspectiva mecanicista convencional. Bastará, para ilustrar este punto, con un solo ejemplo: si un animal, como, por ejemplo, una rata, aprende una nueva pauta de conducta, existirá la tendencia a que cualquier otra rata semejante (de la misma raza, criada en las mismas condiciones, etc.) la aprenda más rápidamente. Y, cuanto mayor sea el número de ratas que aprendan a ejecutar esa tarea, más fácil les resultará después aprenderla a otras ratas. Si se enseña, por ejemplo, a miles de ratas a llevar a cabo una determinada tarea en un laboratorio de Londres, les resultará más sencillo y rápido aprenderlo a otras ratas semejantes en cualquier otra parte del mundo. Y si medimos, pues, la tasa de aprendizaje de las ratas de otro laboratorio, de Nueva York pongamos por caso, antes y después de enseñar a las ratas de Londres, advertiremos, en el caso de que la hipótesis sea cierta, que éstas aprenden más deprisa que aquéllas. Y éste sería un efecto que se presentaría independientemente de cualquier forma conocida de conexión o comunicación física entre ambos laboratorios.

Son muchos, por más que tal predicción parezca tan improbable como absurda, los estudios de laboratorio que han corroborado la presencia de este tipo de efecto.¹³

Esta hipótesis, denominada hipótesis de la causación formativa, conlleva una interpretación de muchos fenómenos físicos y biológicos radicalmente diferente de la que ofrecen las teorías ya existentes y nos permite contemplar, desde una nueva perspectiva, algunos problemas muy conocidos. Ésta será la hipótesis que, de manera preliminar, esbozaremos en este libro. Luego veremos algunas de sus implicaciones y sugeriremos diferentes métodos para demostrarla.

1. LOS PROBLEMAS PENDIENTES DE LA BIOLOGÍA

1.1. EL TRASFONDO DEL ÉXITO

La teoría predominante de la vida es mecanicista. Desde esta perspectiva, los organismos vivos son máquinas. No tienen alma ni principios vitales misteriosos y pueden ser completamente explicados en términos de física y química. Ésta no es una idea nueva, porque se remonta al filósofo René Descartes (1596-1650). En el año 1867, T.H. Huxley resumió esta perspectiva con las siguientes palabras:

«La fisiología zoológica es la doctrina de las funciones o acciones de los animales. Considera los cuerpos animales como máquinas propulsadas por fuerzas diversas que efectúan una cierta cantidad de trabajo que puede expresarse en función de las fuerzas ordinarias de la naturaleza. El objetivo final de la fisiología consiste en deducir los hechos de la morfología, por una parte, y, por la otra, los de la ecología, a partir de las leyes de las fuerzas moleculares de la materia.»¹

Estas palabras perfilaron el desarrollo posterior de la fisiología, la bioquímica, la biofísica, la genética y de la biología molecular. En muchos sentidos, esas ciencias han obtenido un gran éxito que, en ninguno de los casos ha sido, no obstante, tan espectacular como el logrado por la biología

molecular. El descubrimiento de la estructura del ADN, el “desciframiento del código genético”, la elucidación del mecanismo de la síntesis proteica y la secuenciación del genoma humano parecen corroborar de un modo rotundo la validez de la visión mecanicista.

Los principales defensores de esta visión son los biólogos moleculares. Sus explicaciones suelen empezar con una descalificación sumaria de las teorías vitalista y organicista, a las que, desde su perspectiva, consideran vestigios de creencias “primitivas” que, ante los avances de la biología mecanicista, están lamentablemente condenadas a desaparecer. Y su explicación para ello suele atenerse aproximadamente a las siguientes líneas:²

Hoy en día conocemos la naturaleza química del material genético, el ADN y el código genético mediante el cual se codifica la secuencia de aminoácidos en las proteínas. También conocemos con cierto detalle el mecanismo de la síntesis proteica. Hemos identificado la estructura de muchas proteínas. Todas las enzimas son proteínas y las enzimas catalizan las complejas cadenas y ciclos de reacciones bioquímicas que constituyen el metabolismo de un organismo. El metabolismo se controla por retroalimentación bioquímica y conocemos diversos mecanismos que regulan la velocidad de la actividad enzimática. Las proteínas y los ácidos nucleicos se organizan espontáneamente formando estructuras como los virus y los ribosomas. Y, dado el rango de las propiedades de las proteínas, así como otros sistemas físico-químicos, como las membranas lipídicas, además de complejos sistemas de interacción físico-química, también podemos, en principio, explicar por completo las propiedades de las células vivas.

La clave de los problemas de diferenciación y desarrollo, de los que tan pocas cosas conocemos, se centra en la comprensión del control de la síntesis proteica. Sabemos, con cier-

to detalle, cómo se controla, en la bacteria *Escherichia coli*, la síntesis de determinadas enzimas metabólicas y de otras proteínas. El control de la síntesis proteica se lleva a cabo, en el caso de los organismos superiores, a través de mecanismos más complicados, de los que, hoy en día, sabemos mucho más que nunca. A su debido momento, podremos explicar la diferenciación y desarrollo en términos de una secuencia de “interruptores” químicos que “activan” o “desactivan” el funcionamiento de determinados genes o grupos de genes. Por el momento, ya se conocen algunos de estos grandes sistemas de interruptores, como los llamados genes homeobox, que son casi idénticos en los casos de la mosca de la fruta, el ratón y el ser humano.³

El modo en que las diferentes partes de un organismo vivo se adaptan a las funciones de la totalidad y la aparente propositividad de la estructura y la conducta de los organismos vivos se explican por mutaciones genéticas aleatorias seguidas de un proceso de selección natural que procede seleccionando aquellos genes que aumentan la probabilidad de supervivencia y reproducción de un organismo al tiempo que dejan simultáneamente a un lado las mutaciones dañinas. Así es como la teoría neodarwiniana de la evolución explica la propositividad, sin necesidad de apelar a la presencia de misteriosos “factores vitales”.

Cada vez sabemos más cosas sobre el funcionamiento del sistema nervioso central y los avances de la bioquímica, la biofísica, la electrofisiología y el escáner cerebral, que están ayudándonos a explicar a qué nos referimos cuando hablamos de la mente en términos de los mecanismos físicos y químicos del cerebro. El modelo del procesamiento de información nos permite considerar la mente como una especie de *software* que opera sirviéndose del *hardware* del cerebro. El sueño de crear inteligencia artificial e incluso conciencia den-

tro de las máquinas está cada vez más cerca de convertirse en una realidad.⁴

Los organismos vivos son, en principio, completamente explicables en términos de física y química. Nuestra limitada comprensión de los mecanismos del desarrollo y del sistema nervioso central se debe a la extraordinaria complejidad de los problemas implicados. Pero, gracias a los nuevos y poderosos conceptos proporcionados por la biología molecular podemos abordar, hoy en día, con la ayuda de los modelos generados por ordenador, todas estas cuestiones de un modo que anteriormente hubiera resultado impensable.

Resulta comprensible que, ante el éxito obtenido, concluyamos con optimismo que el mecanicismo acabará resolviendo todos los problemas de la biología. Pero cualquier consideración realista de las expectativas del abordaje mecanicista debe basarse en algo más que en un mero acto de fe y sólo puede derivarse de una revisión de los problemas pendientes de la biología y de su posible resolución.

1.2. LOS PROBLEMAS DE LA MORFOGÉNESIS

La morfogénesis biológica puede definirse como el «desarrollo de la forma concreta característica de los organismos vivos».⁵ El primer problema es precisamente el de la aparición de dicha forma. El desarrollo biológico es *epigenético* y consiste en la aparición de nuevas estructuras que no pueden explicarse en términos de estructuras que ya se hallaran presentes en el huevo. No hay, dicho de otro modo, ojos en miniatura en los huevos del águila ni flores en miniatura en las semillas de la dedalera.

El segundo problema al que nos enfrentamos es que muchos sistemas en proceso de desarrollo son capaces de *regu-*

larse o, dicho en otras palabras, de seguir desarrollándose hasta regenerarse por más que, de un sistema en proceso de desarrollo, se elimine una parte, una estructura más o menos normal, o que, añadiendo una parte adicional, obtengamos el mismo resultado. La demostración clásica de este fenómeno la efectuó Hans Driesch durante la década de 1890 basándose en experimentos que llevó a cabo con embriones de erizo de mar. Cuando mataba, en la fase bicelular, una de las células de un embrión muy joven, la célula restante no daba lugar a medio erizo de mar, sino a un erizo de mar completo, aunque pequeño. Y, de manera parecida, después de la destrucción de una, dos o tres células de embriones en la fase de cuatro células, se formaban también erizos de mar completos, aunque pequeños. Y la fusión, por el contrario, de dos jóvenes embriones de erizo de mar daba lugar al desarrollo de un erizo de mar gigante.⁶

Independientemente de que se trate de animales o de plantas, este proceso de regulación afecta al desarrollo de todos los organismos. En el caso de los animales, ésta es una capacidad que suele perderse en la medida en que avanza el desarrollo, al establecerse el destino de diferentes regiones del embrión como, por ejemplo, las extremidades o el hígado. Pero, aun en el caso de que esta determinación ocurra en un estadio temprano, como, por ejemplo, en los embriones de insectos, la regulación puede presentarse aun después de dañar el huevo (figura 1).

Este tipo de hechos pone de relieve que las plantas y los animales avanzan aproximándose a un determinado objetivo morfológico. Es como si poseyeran alguna propiedad que especifica dicho objetivo y les permitiera alcanzarlo aunque se eliminen partes del sistema y se altere el curso normal de desarrollo.

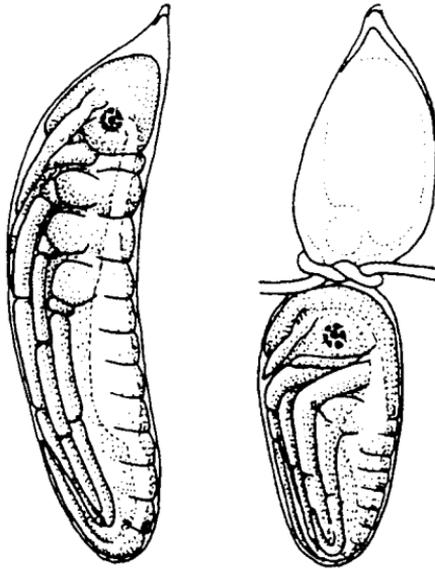


FIGURA 1. *Ejemplo de regulación. A la izquierda puede verse un embrión normal de la libélula Platycnemis pennipes y, a la derecha, un embrión pequeño, aunque completo, formado a partir de la mitad posterior de un huevo que, después de la puesta, se ha visto cerrado por un nudo (Weiss, 1939).*

El tercer problema es el de la regeneración, un proceso que permite a los organismos reparar o reemplazar estructuras dañadas. Las propiedades regenerativas de algunas plantas son casi ilimitadas. Si cortamos el tronco y las ramas de un sauce llorón en centenares de partes, por ejemplo, todas ellas pueden seguir creciendo hasta convertirse en un nuevo árbol. También hay algunos animales que se regeneran a partir de las partes. El platelminto, por ejemplo, puede cortarse en varias piezas, cada una de las cuales acaba dando lugar a un nuevo gusano.

También hay vertebrados que poseen un extraordinario poder de regeneración. Si, por ejemplo, extirpamos quirúrgicamente el cristalino del ojo de un tritón, acaba regenerándose, a partir del borde del iris (figura 2), mientras que, durante el proceso normal de desarrollo del embrión, el cristalino se forma, a partir de la piel, siguiendo un proceso muy distinto. Éste fue el tipo de regeneración descubierta, durante la década de 1890, por el biólogo alemán Gustav Wolff. Pero él eligió deliberadamente un tipo de mutilación que no se presentaba de manera accidental en la naturaleza, razón por la cual su proceso de regeneración no podía verse elegido por la selección natural.⁷

El cuarto problema tiene que ver con el simple hecho de la reproducción en la que una parte procedente de un progenitor acaba convirtiéndose en un nuevo organismo, un ejemplo de una parte que acaba convirtiéndose en una totalidad.

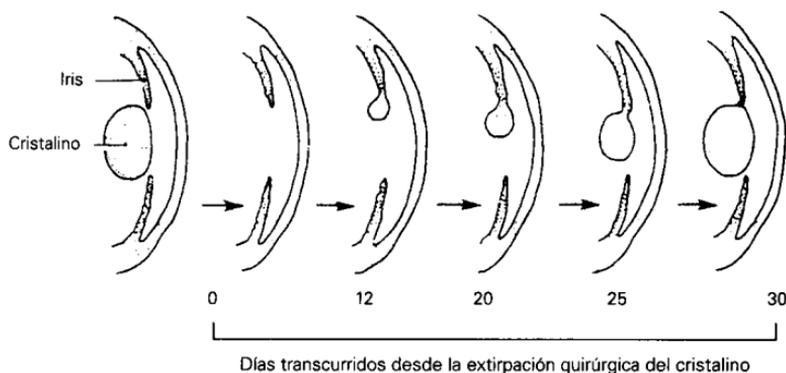


FIGURA 2. Regeneración del cristalino a partir del borde del iris en el ojo de un tritón al que se ha extirpado quirúrgicamente el cristalino original (Needham, 1942).

Sólo hay un modo de entender estos fenómenos, en términos de causas que son algo más que la suma de las partes y determinan el objetivo de los procesos de desarrollo.

Los vitalistas atribuyen estas propiedades a *factores vitales*, los organicistas a *propiedades de los sistemas o campos morfogenéticos* y los mecanicistas a *programas genéticos*.

El concepto de programa genético se basa en una analogía con los programas de ordenador. La metáfora implica que el huevo fertilizado contiene un programa preestablecido que, de algún modo, se encarga de coordinar el desarrollo del organismo. Pero el programa genético debe implicar algo más que la estructura química del ADN, porque copias idénticas de ADN se transmiten a todas las células. Si todas las células se viesen idénticamente programadas, no se desarrollarían de manera diferente. ¿De qué se trata, pues? Sólo podemos dar, como respuesta a esta pregunta, vagas sugerencias sobre interacciones físico-químicas estructuradas en el tiempo y el espacio, una respuesta que, en última instancia, no es tal y acaba conduciéndonos al mismo punto de partida.⁸

Pero la metáfora del programa de ordenador conlleva un problema adicional. Un programa es introducido en el ordenador por un ser consciente e inteligente (el programador). Y también ha sido diseñado para alcanzar un determinado objetivo. Así pues, en la medida en que, para explicar el programa genético, apelamos a la analogía de un programa de ordenador, estamos introduciendo, sin darnos cuenta de ello, una entidad propositiva que desempeña el papel del programador.

Los mecanicistas rechazan la idea de que el desarrollo, la regulación y la regeneración de los organismos se hallen bajo el control de un factor vital que les orienta hacia sus propios objetivos morfológicos. Pero, en la medida en que las expli-

caciones mecanicistas dependen de conceptos teleológicos como programas o instrucciones genéticas, la intencionalidad sólo puede explicarse porque, previamente y sin advertirlo siquiera, la hemos introducido. En realidad, las propiedades atribuidas a los programas genéticos son notablemente semejantes a aquellas con las que los vitalistas dotan a sus hipotéticos factores vitales. ¿No les parece irónico que el programa genético acabe asumiendo el aspecto, bajo un disfraz mecanicista, de un factor vital?⁹

El concepto de “gen egoísta” esbozado por Richard Dawkins les convierte en una especie de pequeñas personas. Los hay tan despiadados y competitivos como “gánsters de Chicago” y hay otros que tienen poderes para “moldear la materia”, “crear forma”, “elegir” y hasta “aspirar a la inmortalidad”.¹⁰ La retórica de la Dawkins es, en este sentido, vitalista y sus genes egoístas acaban asemejándose a factores vitales en miniatura.

Sin embargo, el hecho de que la morfogénesis biológica no pueda explicarse en términos estrictamente mecanicistas no implica que, en el futuro, no pueda serlo. En el siguiente capítulo, veremos la posibilidad de llegar a este tipo de explicación.

1.3. CONDUCTA

Pero, si difíciles resultan los problemas de la morfogénesis, todavía lo son más los que tienen que ver con la conducta. Veamos, en primer lugar, el caso del instinto. Consideremos, por ejemplo, el modo en que la araña teje su tela sin aprenderlo de otras arañas.¹¹ O consideremos la conducta de los cuclillos europeos, cuyos polluelos se ven incubados y criados por pájaros de otras especies, sin llegar a ver nunca a sus

progenitores.¹² Concluido el verano, sin embargo, los cuclillos adultos emigran a su hábitat de invierno ubicado en Sudáfrica. Aproximadamente un mes después, los jóvenes cuclillos se agrupan con otros congéneres y emigran también a Sudáfrica, donde se reúnen con los individuos mayores de su especie.¹² Emigran instintivamente, saben instintivamente cuando tienen que hacerlo, reconocen instintivamente a otros jóvenes cuclillos y se unen instintivamente a ellos y saben también instintivamente en qué dirección deben volar y cuál es, después de atravesar a solas el estrecho de Gibraltar y el desierto del Sáhara, su hábitat ancestral en Sudáfrica.

En segundo lugar, existe un problema planteado por la conducta animal orientada hacia objetivos. Aun en el caso de que, de algún modo, impidamos que el animal alcance su objetivo, lo cierto es que acaba lográndolo por otro camino. El perro al que se ha amputado una pata, por ejemplo, aprende a caminar con tres patas; el perro que ha sufrido una lesión cerebral acaba recuperando gradualmente la mayoría de sus habilidades anteriores y un tercer perro tropieza con obstáculos que obstaculizan arbitrariamente su camino. Pero a pesar, no obstante, de todos esos problemas que afectan respectivamente a sus extremidades, su sistema nervioso central y su medio ambiente, los tres pueden desplazarse de un lugar a otro.

También cabe pensar, en tercer lugar, en el problema de la conducta inteligente, es decir, de la aparición de nuevas pautas conductuales que no pueden explicarse completamente en función de las conductas precedentes. Y es que, en este sentido, los animales pueden ser creativos.

Un abismo de ignorancia separa estos fenómenos de los hechos establecidos de los que nos hablan la biología molecular, la bioquímica, la genética y la neurofisiología.

¿Cómo podría, la conducta migratoria de los jóvenes cuculillos, explicarse en términos del ADN, la síntesis proteica y la biología celular molecular? No basta, para obtener una explicación satisfactoria de ese tipo de conducta, con demostrar que determinados genes contienen una determinada secuencia de bases en el ADN o que la conducta de los cuculillos dependa de impulsos nerviosos eléctricos. También debemos, para ello, entender las conexiones existentes entre las secuencias concretas de las bases del ADN, el sistema nervioso del pájaro y la conducta migratoria. Por el momento, sin embargo, esta conexión sólo puede ser proporcionada por las mismas elusivas entidades que supuestamente “explican” todos los fenómenos de la morfogénesis, es decir, factores vitales, propiedades de los sistemas, campos morfogenéticos o programas genéticos.

En cualquiera de los casos, sin embargo, la comprensión de la conducta presupone la comprensión de la morfogénesis. Aunque pudiésemos entender, por ejemplo, con todo detalle la conducta de un animal relativamente sencillo como un gusano nematodo, basándonos en el funcionamiento de los “circuitos” y la fisiología de su sistema nervioso, todavía nos quedaría por resolver el problema de la precisión y exactitud del cableado de tal sistema nervioso.

1.4. EVOLUCIÓN

Mucho antes de que se conocieran las leyes de Mendel, ya se criaban selectivamente variedades y razas de animales y plantas domésticas, como el podenco del faraón o la rosa damascena. La crianza selectiva era, como afirmaba claramente Charles Darwin, el fundamento de un éxito que también operaba, bajo la influencia de la selección natural, de manera parecida.

Darwin también creía en la posibilidad de heredar los hábitos adquiridos por plantas y animales.¹³ La teoría neodarwiniana de la evolución rechaza, sin embargo, la heredabilidad de los hábitos adquiridos y afirma explicar este tipo de evolución en términos de mutaciones genéticas azarosas, razón por la cual no es darwiniana, sino neodarwiniana.

Aunque todo el mundo coincide en que la mutación y la selección natural pueden conducir a la creación de variedades o subespecies, no existe acuerdo general en que la microevolución gradual dentro de una especie pueda dar cuenta del origen de las especies, de los géneros, de las familias ni los órdenes taxonómicamente superiores. Una escuela de pensamiento afirma la posibilidad de explicar la macroevolución en términos de procesos largos y continuos de microevolución,¹³ cosa que otra escuela niega postulando, en su lugar, que la evolución opera a grandes saltos.¹⁴ Pero, por más diferencias de opinión que existan con respecto a la importancia relativa de muchas mutaciones pequeñas o de unas cuantas grandes mutaciones, la verdad es que todo el mundo parece coincidir en el hecho de que las mutaciones son azarosas y de que la evolución puede ser explicada mediante una adecuada combinación de mutaciones aleatorias y de selección natural.

Esta teoría resulta inevitablemente especulativa. Las pruebas de la evolución están abiertas a una gran diversidad de interpretaciones. Quienes se oponen al neodarwinismo, por ejemplo, aducen que las innovaciones evolutivas no pueden explicarse completamente en función de sucesos fortuitos, sino que se deben a la actividad de un principio creador no reconocido por la ciencia mecanicista. Por otra parte, sin embargo, se considera que la presión selectiva originada en la conducta y las propiedades de los organismos vivos depende de un factor de organización interna de índole esencialmente no mecanicista.

No hay modo, pues, de resolver de manera concluyente el problema de la evolución. Las teorías vitalistas y organicistas implican necesariamente una extrapolación de ideas vitalistas y organicistas y el neodarwinismo, por su parte, implica una extrapolación de ideas mecanicistas. Y eso es algo inevitable, porque la evolución siempre será interpretada en función de ideas procedentes de otros sustratos.

1.5. EL ORIGEN DE LA VIDA

El problema del origen de la vida es tan insoluble como el de la evolución y por idénticas razones. Jamás sabremos con absoluta certeza, en primer lugar, lo que ocurrió en el pasado remoto y probablemente siempre estemos, en ese sentido, abiertos a una gran cantidad de posibles especulaciones. Las más habituales de todas ellas identifican el origen de la vida sobre la Tierra en el seno de un caldo primordial, en la infección de la Tierra por microorganismos deliberadamente enviados en una nave espacial por seres inteligentes desde un planeta de otro sistema solar¹⁵ y a la evolución de la vida en cometas preñados de sustancias orgánicas procedentes del polvo interestelar.¹⁶

Pero, por más que llegásemos a conocer las condiciones en que la vida se originó, dicha información no aclararía la naturaleza de la vida. Suponiendo, por ejemplo, que pudiésemos corroborar que el primer organismo vivo se derivó de agregados químicos inertes o “hiperciclos” de procesos químicos¹⁷ en el seno de una sopa primordial, tampoco llegaríamos a demostrar, con ello, que dichos procesos fuesen estrictamente mecanicistas. Los organicistas siempre podrían aducir que surgieron nuevas propiedades orgánicas, y los vitalistas, que el factor vital se introdujo en el primer sistema vivo

precisamente en el momento en que éste emergió por vez primera. Y los mismos argumentos resultarían aplicables si los organismos vivos se sintetizasen artificialmente a partir de sustancias químicas dentro de tubos de ensayo.

1.6. LAS LIMITACIONES DE LA EXPLICACIÓN FÍSICA

La teoría mecanicista postula que todos los fenómenos vitales, incluyendo la conducta humana, pueden explicarse en principio en términos físicos. La teoría de que sólo existen las cosas materiales o físicas y de que ésta es la única realidad es una forma de materialismo o fisicalismo. Pero ese abordaje resulta, por dos razones diferentes, bastante problemático.

En primer lugar, la teoría mecanicista sólo podría ser válida si el mundo físico se hallase causalmente cerrado. Ése sería, con respecto a la conducta humana, el caso si los estados mentales no tuviesen ninguna realidad, es decir, si la conducta fuese, de algún modo, idéntica a los estados físicos del cuerpo, si discurriesen paralelos o si fuesen meros *epifenómenos*. Pero si, por otra parte, la mente puede influir sobre el cuerpo, si es capaz de *interactuar* con el cuerpo, no hay modo de explicar la conducta humana en términos estrictamente físicos. Las pruebas de que disponemos no excluyen la posibilidad de que la mente y el cuerpo interactúen.¹⁸ No podemos establecer ninguna distinción clara y empíricamente fundamentada entre la visión mecanicista y la teoría interaccionista y, desde una perspectiva científica, la cuestión permanece, en este punto, abierta. La conducta humana no puede, ni siquiera en principio, ser explicada en términos de física.

El intento, en segundo lugar, de explicar la actividad mental en función de conceptos estrictamente físicos incurre en

una circularidad, porque la ciencia misma depende de la actividad mental.¹⁹ Este problema resulta evidente, en el caso de la física moderna, en el papel que desempeña el observador en los procesos de observación y medida; los principios de la física «no pueden formularse sin referencia (aunque de un modo, en algunas versiones, exclusivamente implícito) a las impresiones y, en consecuencia, a la mente, de los observadores» (Bernard D'Espagnat).²⁰ Dado, pues, que la física presupone la mente del observador, dicha mente no puede explicarse en términos físicos.²¹

1.7. PSICOLOGÍA

En el campo de la psicología, la ciencia de la mente, existen diferentes escuelas de pensamiento que hablan de la relación existente entre la mente y el cuerpo. La más extrema de las soluciones materialistas consiste en negar la realidad de la mente y asumir que lo único real es el cuerpo. Ése fue el enfoque asumido por el conductismo que, durante la mayor parte del siglo XX, dominó la psicología académica. Los conductistas circunscribieron su atención a la conducta objetivamente observable e ignoraron la existencia de la conciencia.²² Pero el conductismo no era una hipótesis científica verificable, sino tan sólo una metodología.²³ Hoy en día, se trata, dentro del ámbito de la psicología académica, de un enfoque obsoleto que se ha visto fundamentalmente reemplazado por la psicología cognitiva.

Como el conductismo, la psicología cognitiva rechaza la introspección, pero admite la existencia de estados mentales internos, como creencias, deseos y motivaciones. Su metáfora dominante es el ordenador y se considera, en este sentido, a la actividad mental como una suerte de “procesamiento de

información". Pero las limitaciones de la metáfora del ordenador son cada vez más evidentes debido, fundamentalmente, al reconocimiento del papel desempeñado por las emociones²⁴ y de que la mente está encarnada y activamente relacionada con el entorno.²⁵

La más extrema de las posturas asumidas por los filósofos de la mente es el llamado materialismo eliminativo. Esta filosofía afirma que las creencias y los sentimientos carecen de definición coherente y no desempeñan ningún papel en la comprensión científica del cerebro. La neurociencia del futuro no tiene ninguna necesidad de conceptos obsoletos como creencias y sentimientos que, con el paso del tiempo, acabarán viéndose arrumbados como sucedió, en el pasado, con conceptos tales como "flogisto" y "fuerza vital". La mente puede ser explicada en términos de la actividad objetivamente mensurable del sistema nervioso.²⁶

Otro modo de enfrentarse al problema de la conciencia consiste en admitir que existe, pero negar que haga algo. Esta visión, denominada "epifenomenalismo", afirma que «los eventos mentales son causados por hechos físicos del cerebro, aunque no sean causados por los eventos mentales».²⁷ Como dijo el filósofo Alex Hyslop, «el error cometido por el epifenomenalismo es el mismo en el que incurre el materialismo. La defensa del materialismo es la defensa de la ciencia, de una ciencia triunfante o, cuanto menos, establemente triunfante. Pero el materialismo no tiene en cuenta la existencia de rasgos de nuestra experiencia consciente que la ciencia no puede explicar».²⁸

Durante la década de 1990, David Chalmers estableció una distinción entre lo que él llamaba el "núcleo fácil" de la conciencia, como, por ejemplo, cómo determinar los correlatos neuronales de la sensación (qué partes, por ejemplo, del cerebro se activan durante la percepción visual de objetos en mo-

vimiento) y el “núcleo duro” (¿por qué existe la conciencia de la información sensorial?). Existe una diferencia radical entre la biología del cerebro y la experiencia mental (una experiencia subjetiva a la que los filósofos de la mente denominan *qualia*), que incluye la experiencia de cualidades como, por ejemplo, “rojo”. Chalmers afirma que, si queremos tomarlos en serio la conciencia, es necesario ir más allá del marco de referencia estrictamente materialista.²⁹

A diferencia de las psicologías materialistas, que dominan las instituciones académicas, otras escuelas psicológicas aceptan, como punto de partida, la experiencia subjetiva, pero también reconocen que no toda actividad mental es consciente y que muchos aspectos de la conducta y de la experiencia subjetiva dependen, en consecuencia, de la mente subconsciente o inconsciente. La mente inconsciente también posee propiedades que desafían la explicación mecanicista. Desde la perspectiva de Carl G. Jung, por ejemplo, el inconsciente no se halla limitado a la mente individual, sino que proporciona un sustrato común compartido por todas las mentes humanas, el inconsciente colectivo:

«Además de nuestra conciencia inmediata, de naturaleza completamente personal y a la que consideramos como la única psique empírica (aun en el caso de que nos refiramos al inconsciente personal como si se tratara de un apéndice), existe un segundo sistema psíquico de naturaleza colectiva, universal e impersonal, idéntico en todos los individuos. Este inconsciente colectivo no se desarrolla individualmente, sino que se hereda. Está compuesto por formas preexistentes, los arquetipos, que sólo pueden llegar a ser conscientes de un modo indirecto y acaban dando lugar a ciertos contenidos psíquicos.»³⁰

Jung trató de explicar la herencia del inconsciente colectivo físicamente sugiriendo que las formas arquetípicas «están presentes en el germoplasma».³¹ Pero es dudoso que algo que posee las propiedades de las formas arquetípicas pueda heredarse químicamente en la estructura del ADN o en cualquier otra estructura física o química, ya sea el esperma o las células embrionarias. Sean cuales fueren, en suma, sus méritos como teoría psicológica, la noción de inconsciente colectivo tiene, en términos de la biología mecanicista actual, muy poco sentido.

A priori, sin embargo, no hay razón alguna para limitar las teorías psicológicas al marco de referencia de la visión mecanicista. Los fenómenos mentales no necesariamente dependen de las leyes conocidas de la física, sino que pueden depender de principios que todavía no han sido admitidos por la ciencia.

1.8. PARAPSIKOLOGÍA

Todas las sociedades tradicionales cuentan historias sobre hombres y mujeres con poderes milagrosos y todas las religiones reconocen dichos poderes. En muchas partes del mundo se cultivan, dentro de sistemas tales como el chamanismo, la brujería, el yoga tántrico y el espiritualismo, habilidades paranormales. E, incluso en la moderna sociedad occidental se publican informes de fenómenos inexplicables, como la telepatía, la clarividencia, la precognición, los recuerdos de vidas pasadas, las apariciones, los duendes, la psicokinesis, etc. Las investigaciones realizadas al respecto ponen de relieve que el tipo más habitual de telepatía, la llamada telepatía telefónica, está relacionada con la tecnología y se refiere al caso en que, sin razón aparente, la persona piensa en alguien que no tarda en llamar por teléfono.³²

Aunque los escépticos dogmáticos rechazan toda esa evidencia, la posibilidad de que una parte, al menos, de esos eventos realmente ocurra sigue siendo una cuestión sin resolver que sólo podrá dilucidarse después de un examen concienzudo de los datos disponibles.

El estudio científico de fenómenos que se suponen paranormales tiene ya casi un siglo de vida. Aunque algunos investigadores de este campo de la física hayan descubierto algunos casos de fraude y que algunos sucesos aparentemente paranormales pueden explicarse por causas normales, siguen siendo muchas las pruebas que parecen desafiar cualquier explicación en términos de principios físicos conocidos.³³ Por otro lado, numerosos experimentos diseñados para demostrar la llamada percepción extrasensorial o la psicokinesis han dado resultados positivos cuya probabilidad es de miles, de millones o hasta de miles de millones a uno.³⁴

Para la visión estrictamente mecanicista, todos aquellos fenómenos que no pueden explicarse en función de las leyes conocidas de la física y la química, no existen.³⁵ Pero si ocurren, hay dos posibles enfoques. El primero consiste en partir del supuesto de que dependen de factores causales o principios de conexión no físicos.³⁶ La mayoría de las hipótesis del segundo tipo parten de un marco de referencia interaccionista. Varias de las más recientes están basadas en formulaciones de la teoría cuántica que implican “variables ocultas” o “universos paralelos” y postulan que los estados mentales desempeñan un papel en la determinación de los resultados de los procesos probabilísticos del cambio físico.³⁷

1.9. CONCLUSIONES

Esta breve revisión de los problemas pendientes de la biología no nos ofrece grandes esperanzas de que puedan ser resueltos mediante un abordaje estrictamente mecanicista. En el caso de la morfogénesis y de la conducta animal, la cuestión permanece abierta. Los problemas de la evolución del origen de la vida son insolubles per se y no pueden ayudarnos a decidir entre la visión mecanicista y otras teorías de la vida. La visión mecanicista tropieza con grandes dificultades filosóficas en lo que respecta al problema de los límites de la explicación física, nos enfrenta a problemas aparentemente insolubles en el ámbito de la psicología y entra, por último, en conflicto con la aparente realidad de los fenómenos parapsicológicos.

Aunque, por otra parte, la visión interaccionista pueda ser una alternativa atractiva en los campos de la psicología y de la parapsicología, tiene la desventaja de abrir un abismo entre la psicología y la física. Además, sus implicaciones biológicas superiores no son muy claras. Porque, si la interacción de la mente con el cuerpo afecta a la conducta humana, ¿qué podríamos decir con respecto a la conducta de otros animales? Y, si algún factor causal no físico desempeña un papel en el control de la conducta de los animales, ¿podría también desempeñarlo en lo que respecta al control de la morfogénesis? ¿Debería, en tal caso, considerarse como un factor del tipo propuesto en las teorías vitalistas de la morfogénesis? ¿Y hasta qué punto se asemejaría, en caso afirmativo, un factor vital que controlase el desarrollo embriológico, a una mente?

Parece, pues, desde una perspectiva biológica general, que el interaccionismo genera más problemas teóricos de los que resuelve. Y tampoco parece conducir, al margen de las

permitidas por el posible fenómeno paranormal, a ninguna predicción corroborable.

El estado actual de la visión organicista tiene también la desventaja de no sugerir nuevas líneas de investigación empírica y ofrecer a la biología experimental poco más que una terminología ambigua.

En el próximo capítulo veremos algunas versiones mejoradas de las teorías mecanicista, vitalista y organicista. Y nuestro punto de partida será la morfogénesis.

2. TRES TEORÍAS SOBRE LA MORFOGÉNESIS

2.1. INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA Y EXPERIMENTAL

Hay muchos modos de realizar una descripción del desarrollo, como, por ejemplo, dibujar, fotografiar o filmar la forma externa del animal o de la planta en proceso de desarrollo, lo que nos proporciona una serie de imágenes sobre los campos morfológicos por los que atraviesa. También podemos describir los diferentes estadios que sufre su estructura interna, incluida su anatomía microscópica (figura 3), medir los cambios de magnitudes físicas, tales como el peso, el volumen y la tasa de consumo de oxígeno, o analizar los cambios que experimenta la composición química de la totalidad del sistema o de alguna de sus partes.

El avance progresivo de las técnicas contribuye a realizar descripciones cada vez más detalladas. El microscopio electrónico, por ejemplo, nos permite estudiar los procesos de diferenciación celular con una resolución muy superior a la del microscopio óptico, poniendo así de relieve la presencia de estructuras anteriormente inaccesibles; los sensibles métodos analíticos de la bioquímica moderna nos permiten identificar cambios en la concentración de determinadas moléculas, como proteínas y ácidos nucleicos, en muestras muy pequeñas de tejido; los isótopos radiactivos y los anticuer-

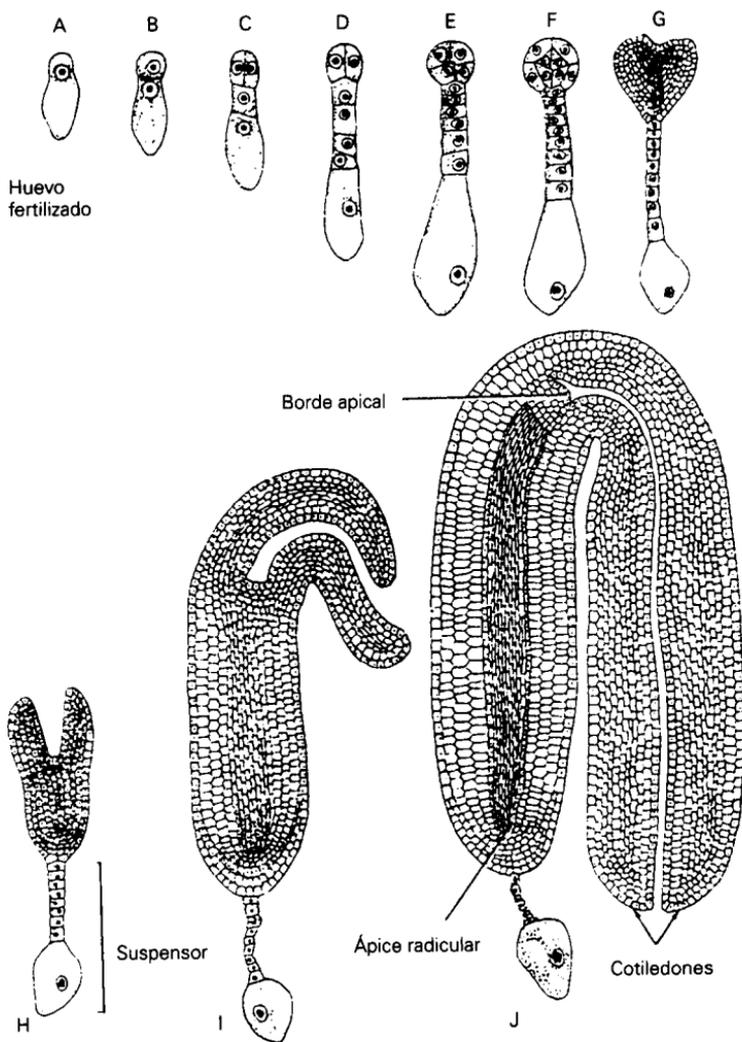


FIGURA 3. Fases por las que atraviesa el desarrollo del embrión de la bolsa de pastor, *Capsella bursa-pastoris* (Maheshwari, 1950).

pos fluorescentes nos ayudan a “marcar” y “rastrear” el camino seguido a través de diferentes estructuras químicas en la medida en que el sistema va desarrollándose y las técnicas que inducen cambios genéticos en algunas células embrionarias nos ayudan a identificar a sus descendientes “marcados” genéticamente y “cartografiar”, de ese modo, el camino recorrido.

La mayor parte de la investigación realizada en los campos de la embriología y la biología del desarrollo aspira a utilizar dichas técnicas proporcionando descripciones objetivas que se clasifican y comparan para determinar el grado de correlación entre diferentes tipos de cambio y la semejanza existente entre los diferentes sistemas. Y, aunque esos resultados estrictamente descriptivos no nos proporcionen, en sí mismos, ninguna comprensión de las causas del desarrollo, sí que pueden sugerirnos algunas hipótesis.¹ Esas hipótesis, por su parte, pueden investigarse a través de alteraciones experimentales del desarrollo modificando, por ejemplo, el medio; aplicando estímulos físicos o químicos en determinados lugares o en todo el sistema; eliminando partes del sistema y estudiando luego aisladamente su desarrollo; observando el modo en que el sistema reacciona ante la eliminación de algunas de sus partes y estudiando los efectos de combinar, mediante injertos y trasplantes, diferentes partes.

En el apartado 1.2 hemos enumerado los siguientes problemas que plantea este tipo de investigación: el desarrollo biológico es epigenético o, dicho en otras palabras, va acompañado de un aumento de la complejidad de la forma y de la organización que no puede explicarse en términos del despliegue o la descomposición de una estructura preformada, aunque invisible; muchos sistemas en proceso de desarrollo son capaces de autorregularse, es decir, de acabar produciendo si, en un estadio relativamente temprano, se destruye o

elimina parte del sistema, una estructura más o menos normal; muchos sistemas pueden regenerar o reemplazar partes ausentes, y la reproducción vegetativa y sexual permite crear, partiendo de partes de los organismos progenitores, nuevos organismos. También cabe considerar otra generalización importante y es que el destino de las células y de los tejidos está determinado, en los sistemas que se hallan en proceso de desarrollo, por la posición que ocupan en el interior del sistema.

Y aunque las teorías mecanicista, vitalista y organicista se asienten en el mismo cuerpo de datos y resultados, sobre el que existe un acuerdo general, su interpretación es, no obstante, radicalmente diferente.

2.2. EL MECANICISMO

La moderna visión mecanicista de la morfogénesis atribuye, por cuatro grandes razones, un papel muy importante al ADN. Son muchos, en primer lugar, los casos de diferencias hereditarias entre animales y plantas de una especie dada que dependen de genes que pueden "cartografiarse" y ubicarse en determinadas zonas de determinadas cromosomas. En segundo lugar, se sabe que el ADN constituye el fundamento químico de los genes y que su especificidad depende de la secuencia de bases purínicas y pirimídicas del ADN. En tercer lugar, se conoce el modo en que el ADN puede actuar como fundamento químico de la herencia, ya que, por un lado, sirve, gracias a la especificidad del apareamiento de las bases en sus dos cadenas complementarias, como plantilla para su propia replicación, mientras que, por otro, también proporciona la plantilla para fijar la secuencia de aminoácidos de las proteínas. Esta última función no la desempeña directamen-

te, sino que una de sus cadenas se “transcribe”, dando lugar a una molécula de cadena simple del “mensajero” ARN a partir de la cual, mediante el proceso de síntesis proteica, se “lee”, de tres en tres, la secuencia de bases. Los diferentes tripletes de bases especifican diferentes aminoácidos, de modo que “traducen” el código genético a una secuencia de aminoácidos que se hallan unidos formando las características cadenas polipeptídicas que, después de plegarse, configuran las proteínas. Finalmente, las características de una célula dependen de sus proteínas: su metabolismo y su capacidad para la síntesis química de las enzimas, algunas de cuyas estructuras dependen de proteínas estructurales, y las propiedades superficiales que le permiten ser “reconocidas”, dependen de otras células superficiales especiales.

El problema fundamental del desarrollo y de la morfogénesis gira, desde la perspectiva mecanicista, en torno a la cuestión del control de la síntesis proteica. En el caso de las bacterias, sustancias químicas llamadas “inductores” pueden llevar a regiones concretas del ADN a transcribirse en el ARN mensajero que sirve como plantilla para la fabricación de determinadas proteínas. El ejemplo clásico en este sentido nos lo proporciona la inducción de la enzima betagalactosidasa por la lactosa en *Escherichia coli*. La “activación” del gen se produce a través de un complejo sistema en el que interviene una proteína represora que, combinándose con una región concreta del ADN, bloquea la transcripción. Esta tendencia se ve muy reducida en presencia del inductor químico. Y, a través de un proceso semejante, determinados represores químicos pueden “desactivar” también genes.

En el caso de los animales y de las plantas, se ha identificado un abanico de genes del desarrollo —que suelen denominarse “caja de herramientas genética”— implicados en la regulación de todo el plan corporal y del número, identidad y

pauta de partes del cuerpo. El descubrimiento más sorprendente realizado, durante la década de 1990, por la biología del desarrollo fue que los genes de la caja de herramientas son considerablemente semejantes hasta el punto de ser, en ocasiones, casi idénticos, en organismos muy diferentes. Así, por ejemplo, la familia de los genes *homeobox*, de los que depende la formación del eje del cuerpo de la mosca de la fruta, el ratón y el ser humano, son muy parecidos, aunque la forma corporal final de esos distintos organismos sea considerablemente dispar. «La conservación de la caja de herramientas genética genera muchas preguntas relacionadas con el desarrollo y la evolución. ¿De qué manera estructuras tan diferentes como el ojo facetado de un insecto y el ojo tipo lente del vertebrado se desarrollan cuando su formación se ve controlada por genes tan semejantes que, en ocasiones, llegan a ser funcionalmente intercambiables?»²

Esta convergencia entre la biología evolutiva y la biología del desarrollo ha acabado dando lugar al establecimiento de un nuevo campo del conocimiento denominado *biología evolutiva del desarrollo* (abreviadamente *evo-devo*).

La mayor parte de los genes de la caja de herramientas se ocupan de codificar las proteínas que afectan a la actividad de otros genes implicados en el proceso de desarrollo y cumplen con una función de “indicar el camino”. Algunos de ellos codifican las proteínas receptoras en la superficie celular que están conectadas a moléculas concretas que actúan a modo de señales.

El paisaje, durante los primeros años de la biología molecular, parecía muy sencillo: un gen se transcribía en una molécula de mensajero ARN, que acababa codificando una proteína. Pero la verdad es que, con el paso del tiempo, la imagen ha ido tornándose cada vez más compleja. El mensajero ARN puede estar compuesto por piezas transcritas procedentes de

diferentes regiones del ADN que acaban uniéndose de un determinado modo. Además, la síntesis de las proteínas también se ve controlada a “nivel traslacional” y son muchos los factores que, aun en presencia del apropiado mensajero ARN, pueden “activar” o “desactivar” la síntesis proteica.

Las diferentes proteínas elaboradas por los distintos tipos de células dependen del modo en que se controla la síntesis proteica. El único modo de entender este hecho desde la perspectiva mecanicista es en términos de influencias físicas y químicas sobre las células. En este sentido, las pautas de diferenciación deben depender de las pautas físicas y químicas existentes dentro del tejido. Son varias las posibilidades que, al respecto, se han sugerido, aunque, por el momento, se desconozca la naturaleza de tales influencias, como, por ejemplo, gradientes de concentración de determinadas sustancias químicas llamadas morfogenes; sistemas de “difusión-reacción” que dependen de algún tipo de retroalimentación química; gradientes eléctricos; oscilaciones eléctricas o químicas; contactos mecánicos entre células o combinaciones diversas entre esos diversos factores. Las células pueden entonces responder de manera diferente a esas diferencias. Un modo de abordar este problema consiste en considerar que estos factores físicos o químicos proporcionan una “información posicional” que, dependiendo de su programa genético, las células “interpretan” activando la síntesis de determinadas proteínas.³

Los diferentes aspectos del problema central del control de la síntesis proteica se hallan, por el momento, bajo investigación. La mayoría de los biólogos creen que no tardaremos mucho en encontrar la solución a este problema o que pronto contaremos, al menos, con una explicación, en términos estrictamente mecanicistas, de la morfogénesis.

Pero, si queremos valorar, la probabilidad –o incluso la posibilidad– de tal explicación mecanicista, convendrá antes considerar uno tras otro los siguientes problemas:

I. El papel explicativo atribuido al ADN y a síntesis proteicas específicas se ve seriamente coartado por la extraordinaria similitud existente, en ocasiones, entre el ADN y las proteínas de diferentes especies. Una detallada comparación entre las proteínas del ser humano y las del chimpancé, por ejemplo, pone de relieve que muchas de ellas son idénticas y que otras sólo difieren muy ligeramente: «Varios métodos inmunológicos, electroforéticos y de secuenciación de aminoácidos proporcionan estimaciones de semejanza genética muy similares. Todos estos métodos indican que el grado de concordancia existente entre el polipéptido promedio humano y el correspondiente del chimpancé gira en torno al 99%». ⁴ Y la comparación entre las denominadas secuencias no repetidas de ADN (es decir, aquellas partes que se supone que poseen significado genético) pone de manifiesto una diferencia global entre las secuencias del ADN humano y del chimpancé de tan sólo un 1,1%. Ahora que contamos con las secuencias de ambos genomas es posible llevar a cabo comparaciones todavía más detalladas, aunque, como señaló Svante Paabo, director del programa del genoma de chimpancé: «No resulta nada claro ver qué es lo que nos diferencia tanto del chimpancé». ⁵

Comparaciones similares entre especies estrechamente relacionadas del género *Drosophila* han puesto de relieve la existencia, entre diferentes especies de la mosca de la fruta, de diferencias mayores, en este sentido, de las que existen entre el ser humano y el chimpancé. Y las diferencias entre distintas especies de ratones son todavía más grandes que las que distinguen al ser humano del chimpancé. Todo ello nos lleva

a la conclusión de que «el contraste entre la evolución molecular y del organismo indica que se trata de dos procesos, en cierto modo, independientes».⁶

Pero ¿dónde, si no la hallamos en los genes y las proteínas, debemos buscar la explicación de las evidentes diferencias existentes entre el chimpancé y el ser humano?

Asumamos, dejando provisionalmente de lado todos estos problemas, que las diferencias hereditarias entre especies tan distintas como el ser humano y el chimpancé pueden explicarse en función de pequeños cambios en la estructura proteica de un pequeño número de proteínas o de cambios genéticos que afectan al control de la síntesis proteica (y que quizás dependan de las diferencias de disposición del ADN en el interior del cromosoma) o de diferentes combinaciones entre estos factores.

II. Diferentes pautas de desarrollo tienen lugar, manteniendo el mismo ADN, en el interior del mismo organismo. Consideremos, por ejemplo, el caso de nuestros brazos y de nuestras piernas: unos y otros contienen células idénticas (células musculares, células del tejido conectivo, etc.) con idénticas proteínas e idéntico ADN. No debemos, pues, atribuir las diferencias existentes entre el brazo y la pierna al ADN, en sí, sino a factores que determinan la pauta y actúan de modo diferente en el desarrollo del brazo que en el desarrollo de la pierna. Además, también dan lugar al desarrollo de pautas especulares entre las piernas y los brazos izquierdo y derecho. La exactitud con que se organizan los tejidos como, por ejemplo, la conexión de un tendón con la correspondiente ubicación del hueso pone de relieve la extraordinaria precisión y detalle de esas pautas. Aunque no quepa, pues, la menor duda de la índole física o química de esos factores, su naturaleza exacta sigue resultándonos desconocida.

III. Aun suponiendo la posibilidad de identificar los factores físicos o químicos que determinan el desarrollo de un brazo, la formación de un ojo o el crecimiento de una manzana, sigue sin quedar claro el modo en que estos factores se han visto pautados. Ilustremos ahora este problema considerando un par de casos en que estos "morfogenes" químicos han sido aislados e identificados químicamente.

En primer lugar, debemos señalar que, en el moho del ciemo, ciertas células libres semejantes a amebas se unen, en determinadas condiciones, formando una especie de "babosa" que, tras unos cuantos movimientos, acaba irguiéndose y formando un tallo en cuyo interior se almacenan esporas (figura 4). La agregación de estas células depende de una sustancia química relativamente sencilla, el AMP cíclico (adenosín monofosfato 3', 5'). Y, aunque la distribución del AMP cíclico tenga que ver, en el organismo compuesto, con la pauta de diferenciación, «no está claro si la pauta del AMP cíclico es una causa o una consecuencia de la diferenciación pre-tallo-preespora». Pero es que, aun en el caso de que, en esa diferenciación, desempeñe un papel causal, no puede, en sí misma, explicar su pauta de distribución ni la variación que experimenta de una especie a otra. Debe haber, pues, otros factores que expliquen esta pauta de distribución, sobre cuya naturaleza existe una gran diversidad de opiniones.⁷

En segundo lugar, también se sabe que, en las plantas superiores, la hormona auxina (ácido indol-3-acético) desempeña un papel importante en el control de la diferenciación vascular y en la formación de las células de la madera (xilema). Pero ¿cómo se controla la producción y distribución de la auxina? La respuesta parece ser que tienen lugar a través de la diferenciación vascular. Probablemente la auxina se vea liberada por las células vasculares en proceso de diferenciación como subproducto de la descomposición proteica que

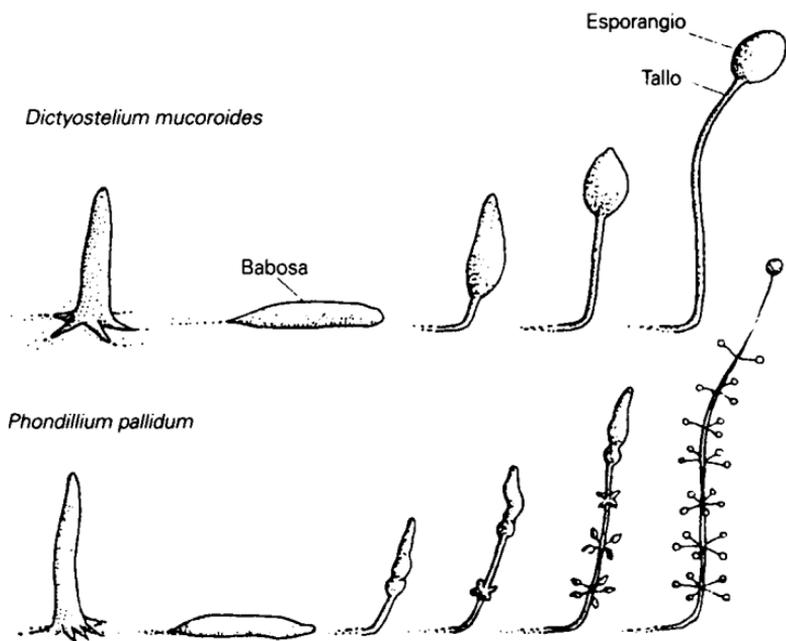


FIGURA 4. Fases de migración y de culminación de dos especies diferentes de moho del cieno. A la izquierda se representan los organismos compuestos de desarrollo reciente, formados por agregación de numerosas células ameboides de vida libre. Estas células emigran luego a modo de "babosas", que acaban irguiéndose y diferenciándose en tallos que llevan un cuerpo cargado, en su extremo, de esporas (Bonner, 1958).

sucede durante el suicidio celular. El sistema es, en este sentido, circular porque, aunque la auxina contribuya a conservar las pautas de diferenciación, no explica su origen.⁸

Supongamos, de un modo estrictamente provisional, en la posibilidad de identificar los factores físicos preexistentes que determinan la pauta de distribución de la auxina, el APM cíclico y otros morfogenes químicos. Y supongamos también que sea posible identificar el modo en que estos factores con-

troladores se ven controlados, remontándonos así hasta el huevo fertilizado o la espora a partir de la que el organismo se ha desarrollado.

Pero todavía quedaría, en tal caso, por resolver el problema de la regulación. Si eliminamos una parte del sistema, podemos interrumpir esta compleja serie de pautas físico-químicas. Pero, de algún modo, otras partes del embrión logran modificar el curso habitual de su desarrollo, de modo que acaban produciendo un adulto más o menos normal.

Éste es un problema cuya complejidad admite todo el mundo y del que todavía estamos muy lejos de esbozar una solución. Quienes sostienen la visión mecanicista esperan poder resolverlo a través del esfuerzo y el modelado matemático. Pero, aun en el caso de que admitiésemos la posibilidad de llegar a una solución mecanicista, los problemas no, por ello, habrían concluido.

IV. El siguiente problema es el modo en que esta “información posicional” acaba provocando su efecto. La posibilidad más sencilla es que esta “información posicional” dependa del gradiente de concentración de un determinado morfogen y que las células expuestas a una concentración que supere un determinado umbral sinteticen determinadas proteínas, mientras que aquellas otras que se hallen expuestas a concentraciones inferiores, por el contrario, sinteticen otras.

Pero suponiendo, una vez más, la posibilidad de identificar y describir con cierto detalle los mecanismos que “interpretan” esa “información posicional”⁹ llegamos, al final de esta cadena de tan optimistas suposiciones, a un punto en el que diferentes células organizadas según una determinada pauta fabrican distintas proteínas.

Hasta el momento, hemos considerado relaciones de tipo unívoco, es decir, relaciones en las que un gen se ve “activado” por un determinado estímulo, el ADN se transcribe en ARN y el ARN acaba traducándose en una secuencia concreta de aminoácidos, una cadena polipeptídica. Pero esta sencilla secuencia causal ha llegado ahora a su fin. ¿De qué modo las cadenas polipeptídicas acaban produciendo las características estructuras tridimensionales de las proteínas? ¿De qué modo las proteínas confieren a las células sus estructuras habituales? ¿Cómo se agregan las células formando tejidos de estructuras características?, etc. Éstos son los problemas de la morfogénesis propiamente dicha: la síntesis de cadenas polipeptídicas concretas constituye el fundamento de la maquinaria metabólica y de los materiales estructurales de los que depende la morfogénesis. Es indudable que las cadenas polipeptídicas y las proteínas que generan son necesarias para la morfogénesis, pero ¿qué es lo que determina las pautas y estructuras en que acaban combinándose las proteínas, las células y los tejidos?

Los mecanicistas creen en la posibilidad de explicar todo ello en términos de autorregulación. Basta, desde esa perspectiva, con la presencia, en el lugar adecuado, en el momento adecuado y en las secuencias adecuadas, de las proteínas adecuadas, para que la morfogénesis tenga lugar de manera espontánea. Pero esto sería lo mismo que decir que basta con tener, en el momento adecuado y en el lugar adecuado, los materiales de construcción para que la casa se construyese sola. La biología mecanicista renuncia, en ese estadio crucial, a encontrar una explicación y deja simplemente la morfogénesis en manos de procesos físicos y químicos espontáneos. Pero lo cierto es que, siguiendo con la analogía de la casa en construcción, también es necesaria la actividad de los constructores y un plan al que atenerse. La morfogénesis, pues,

depende de procesos físicos espontáneos impulsados por flujos de energía espontánea y la actividad autoorganizadora del sistema. Pero ¿cómo?

El desarrollo de las proteínas nos proporciona un buen ejemplo en este sentido. Las cadenas de polipéptidos se despliegan, dadas las condiciones adecuadas, espontáneamente dando lugar a proteínas de estructuras tridimensionales características. Las hay que, en determinadas ocasiones, se despliegan para volver luego, en otras condiciones, a replegarse en los tubos de ensayo. Por ello este proceso no parece depender de cualquier propiedad misteriosa de las células vivas.

Por otro lado, las subunidades proteicas pueden agregarse en un tubo de ensayo formando estructuras que habitualmente tienen lugar en el interior de las células vivas: por ejemplo, las subunidades que componen las proteínas de la familia llamada tubulina se unen formando unas largas estructuras semejantes a una varilla denominadas microtúbulos.¹⁰ Estructuras todavía más complejas, como los ribosomas, pueden formarse a través de la unión espontánea de varias proteínas y del ARN. Del mismo modo, las moléculas de los lípidos pueden unirse en los tubos de ensayo formando estructuras semejantes a las membranas.

El hecho de que estas estructuras experimenten procesos de autoagregación espontánea las asemeja a cristales hasta el punto de poder considerar a muchas de ellas como estructuras cristalinas o cuasicristalinas. Así que, en principio, sus problemas se asemejan a los de la cristalización normal, razón por la cual podemos asumir que, en ellos, operan los mismos procesos físicos.

Pero no deberíamos extraer, de ello, la conclusión de que todos los procesos morfogenéticos se asemejen a un tipo de cristalización. Son muchos los factores físicos implicados y las fuerzas de la tensión superficial, por ejemplo, que pueden

determinar la forma finalmente asumida por las membranas. Y algunas de las pautas pueden derivarse de fluctuaciones estadísticamente aleatorias; ejemplos sencillos de la aparición de "orden a través de fluctuaciones" han sido contemplados desde la perspectiva de los procesos termodinámicos irreversibles alejados del equilibrio que afectan a los sistemas inorgánicos.¹¹ Es posible que algunos procesos de pautado puedan verse matemáticamente modelados siguiendo complejas teorías sistémicas.¹²

Pero las teorías mecanicistas no sólo sugieren que los procesos físicos desempeñen un papel en la morfogénesis, sino que afirman la posibilidad de explicar la morfogénesis en términos estrictamente físicos. Pero ¿qué significa eso? Si *definimos* que todo lo observable es físicamente explicable, será así por definición. Pero ello no implica que podamos explicarlo en términos de las leyes *conocidas* de la física.

En lo que se refiere a la morfogénesis biológica, podría darse una explicación completa si un biólogo proporcionase la secuencia genómica completa de un organismo y una descripción detallada del estado físico y químico del huevo fertilizado y del medio en que se desarrolla; podría *predecir*, en función de las leyes fundamentales de la física (la teoría cuántica, las ecuaciones del electromagnetismo, la segunda ley de la termodinámica, etc.), en primer lugar, la estructura tridimensional de todas las proteínas que el organismo pudiese elaborar; las propiedades enzimáticas, entre otras, en segundo lugar, de tales proteínas; en tercer lugar, el metabolismo completo del organismo; en cuarto lugar, la naturaleza y consecuencias de todos los tipos de información posicional que emergiesen durante su desarrollo; en quinto lugar, la estructura de sus células, tejidos y órganos y la forma del organismo como totalidad y, en último lugar, si se tratase de un animal, su conducta instintiva.

Si pudiésemos contar con todas esas predicciones y establecer también a priori el curso de los procesos de regulación y regeneración, contaríamos con una prueba definitiva de la posibilidad de explicar completamente los organismos vivos en función de las leyes conocidas de la física. Pero, como nada de todo ello resulta, por el momento, posible, no hay forma alguna de demostrar la viabilidad de este tipo de explicación. Y tal vez nunca la haya.

Bien podría, el supuesto mecanicista que insiste en la posibilidad de explicar todos los fenómenos de la morfogénesis en función de leyes conocidas de la física, estar equivocado. Son tantas las cosas que, por el momento, ignoramos, que no parece haber razones suficientes para creer que las leyes conocidas de la física pueden acabar explicando todos los fenómenos. Pero ésta, en cualquier caso, es una teoría corroborable, que puede verse refutada con el descubrimiento de una nueva ley de la física. La afirmación mecanicista, por otra parte, de que los organismos vivos obedecen a leyes conocidas y desconocidas de la naturaleza resulta irrefutable y creer en tal explicación abocaría sencillamente a un acto de fe. No se opondría al organicismo ni al vitalismo, sino que los incluiría a ambos.

La visión mecanicista de la vida no es tratada, en la práctica, como una teoría científica rigurosamente definida e irrefutable. Muy al contrario, proporciona una justificación para un método de trabajo conservador dentro del marco de referencia de la física y de la química establecidas. Aunque por lo general se considera que los organismos vivos pueden explicarse completamente en función de las leyes conocidas de la física, si se descubriese una nueva ley de la física, la teoría mecanicista podría modificarse con facilidad hasta llegar a incluirla. Pero todavía queda por ver si tal versión modificada de la vida podría o no ser considerada mecanicista.

Resulta imposible, sabiendo tan poco sobre el fenómeno de la morfogénesis y la conducta, descartar la posibilidad de que algunos de estos procesos dependan de un factor causal desconocido todavía por la física. Y, por más que éste sea un punto soslayado por la visión mecanicista, se trata de una cuestión para la que, por el momento, carecemos de toda respuesta.

2.3. EL VITALISMO

El vitalismo sostiene la imposibilidad de entender el fenómeno de la vida en términos de leyes físicas exclusivamente derivadas del estudio de los sistemas inanimados, pero que, en el caso de los organismos vivos, se ve complementado por un factor causal adicional. Un clásico ejemplo de la visión vitalista típicamente decimonónica fue la afirmada en 1844 por el químico Liebig cuando dijo que, aunque los químicos pudiesen producir ya todo tipo de sustancias orgánicas y, en el futuro, produjesen muchas más, la química jamás estaría en condiciones de crear un ojo ni una hoja. Además de las causas reconocidas del calor, la afinidad química, la fuerza formativa de la cohesión y de la cristalización «existe, en los organismos vivos, una cuarta causa que domina la fuerza de cohesión y combina los elementos en nuevas formas que les permiten desarrollar nuevas cualidades, formas y cualidades que sólo aparecen en los organismos».¹³

Pero, por más que este tipo de ideas contasen con una amplia aceptación, resultaban demasiado vagas como para proporcionar una alternativa eficaz al abordaje mecanicista. Sólo al comienzo de este siglo las teorías neovitalistas se vieron elaboradas con cierto detalle. Y la más importante de todas ellas fue, en lo que respecta a la morfogénesis, la esbozada

por el embriólogo Hans Driesch. Por ello, si tuviésemos que desarrollar una nueva teoría vitalista, la de Driesch nos proporcionaría los cimientos más sólidos sobre los que edificarla.

Driesch no negaba la posibilidad de entender en términos físico-químicos muchos de los rasgos de los organismos vivos. Conocía perfectamente los descubrimientos realizados por la fisiología y la bioquímica, así como la posibilidad de que se llevaran a cabo nuevos descubrimientos:

«Son muchos los compuestos químicos concretos presentes en el organismo pertenecientes a diferentes clases de sistemas químicos, cuya constitución sólo se conoce en parte. Pero sustancias hoy en día desconocidas probablemente acabarán, en un futuro no muy lejano, conociéndose y sin duda no existe la menor imposibilidad teórica de descubrir la constitución de la albúmina [proteína] y el modo de “fabricarla”». ¹⁴

Driesch sabía que las enzimas (“fermentos”) catalizan, aun en los tubos de ensayo, reacciones bioquímicas: «No existe el menor problema en considerar que la mayoría de procesos metabólicos que tienen lugar en el interior del organismo se deben a la intervención de fermentos o sustancias catalíticas y que la única diferencia entre los fermentos orgánicos y los inorgánicos se debe al carácter extraordinariamente complejo de los primeros y su elevado grado de especificidad». ¹⁵ Sabía que los genes mendelianos son entidades materiales ubicadas en los cromosomas y que probablemente se trate de sustancias químicas de estructura concreta. ¹⁶ Pensaba que muchos aspectos de la regulación metabólica y de la adaptación fisiológica podían entenderse en términos físicos-químicos ¹⁷ y que, hablando en términos generales, hay «muchos procesos

en el organismo [...] que funcionan teleológica o propositivamente en base a fundamentos mecánicos establecidos». ¹⁸ Sus opiniones sobre todas estas cuestiones se vieron confirmadas más tarde por los descubrimientos realizados en los campos de la fisiología, la bioquímica y la biología celular. Obviamente, aunque Driesch fuese incapaz de anticipar los detalles de estos descubrimientos, no sólo los consideraba posibles, sino compatibles también con la visión vitalista.

En lo que respecta a la morfogénesis, creía que «debe darse por sentado que una máquina, tal y como entendemos ese término, podría ser perfectamente la fuerza motriz, hablando en términos generales, de la organogénesis, si sólo existiera el desarrollo normal, es decir, el desarrollo continuo y si la eliminación de partes de nuestro sistema produjese un desarrollo fragmentario». ¹⁹ Pero lo cierto es que la eliminación de parte del embrión va seguida, en muchos sistemas embrionarios, de un proceso de autorregulación que lleva al tejido restante a reorganizarse hasta acabar produciendo un organismo adulto más o menos normal.

La teoría mecanicista pretende explicar el desarrollo en términos de complejas interacciones físicas o químicas entre las partes del embrión. La regulación, en opinión de Driesch, torna inconcebible la visión de que los sistemas vitales operan de forma semejante a una máquina porque, mientras que el sistema pueda seguir existiendo como totalidad y producir un resultado final típico, ningún sistema tridimensional que se asemeje a una máquina podrá, por más complejo que sea, seguir existiendo como una totalidad después de eliminar arbitrariamente algunas de sus partes. Otro ítem de la moderna tecnología que parece, en este sentido, relevante, es el proporcionado por el holograma, del que podemos eliminar partes sin que ello impida, no obstante, seguir obteniendo una imagen tridimensional completa. Pero hay que señalar que, en

este sentido, el holograma no es una máquina, sino una pauta de interferencia dentro de un campo.

Driesch pensaba que la regulación, la regeneración y la reproducción demuestran la existencia, en los organismos vivos, de algo que, por más que se eliminen partes del sistema, sigue funcionando como una totalidad, es decir, de algo que, sin llegar a formar parte del sistema físico, actúa, no obstante, sobre él. Y, a este factor no físico, Driesch lo llamó *entelequia* y postuló que organizaba y controlaba, durante la morfogénesis, los procesos físico-químicos. Los genes son responsables de proporcionar los *medios* materiales para la morfogénesis —es decir, las sustancias químicas que deben ser ordenadas—, pero su ordenamiento se veía, en su opinión, llevado a cabo por la entelequia. La morfogénesis puede verse *afectada* por los cambios genéticos que modifican los medios de la morfogénesis, pero ello no demuestra que pueda *explicarse* exclusivamente en términos de las sustancias químicas y de los genes producidos por dichos cambios.

De modo parecido, el sistema nervioso proporciona los medios para la actividad de un animal, pero la entelequia organiza la actividad del cerebro, utilizándolo, como el pianista hace con su piano, como un instrumento. También, en este caso, la conducta podría verse afectada por lesiones cerebrales y la música interpretada depender de una avería del piano, pero ello sólo demostraría que el cerebro es, para la conducta, un medio tan necesario como el piano lo es para el pianista.

Entelequia es un término derivado de la palabra griega *en-telos* que indica que algo posee un fin u objetivo en sí mismo, es decir, que “contiene” el objetivo hacia el cual se dirige el sistema que se halla bajo su control. Por ello, si se interrumpe su curso anormal de desarrollo, el sistema encuentra otro camino para alcanzar el mismo objetivo. Driesch consideraba que el desarrollo y la conducta se hallan bajo el con-

trol de una jerarquía de enteiquias, derivadas y subordinadas a la enteiquia global del organismo.²⁰ Como sucede en cualquier sistema jerárquico, como un ejército, por ejemplo, siempre pueden producirse errores y las enteiquias comportarse “estúpidamente”, como ilustran los extraños casos de superregeneración, es decir, los casos en los que se producen órganos superfluos.²¹ Pero, del mismo modo que los errores militares no demuestran la ignorancia de los soldados, esas “estupideces” tampoco refutan la existencia de la enteiquia.

Driesch describía la enteiquia como una “multiplicidad intensiva”, un factor causal que, pese a no ser espacial, actúa, no obstante, en el espacio. Se trataba, según decía, de un factor natural (como algo opuesto a un factor metafísico o místico) que actuaba sobre los procesos físicos y químicos. Y tampoco se trataba de una forma de energía ni su efecto contradecía la ley de conservación de la energía ni la segunda ley de la termodinámica. ¿Cómo funcionaba?

Driesch escribió durante la época de la física clásica, una época en la que se creía que todos los procesos físicos se atenían a factores estrictamente deterministas y completamente predecibles, en principio, en términos de energía, momento, etc. Pero consideró que los procesos físicos no podían determinarse en su totalidad porque, en cualquier otro caso, la enteiquia no energética no podría actuar sobre los mismos. Por ello concluyó que, aunque, hablando en términos generales, los cambios físico-químicos obedecían a leyes estadísticas, los procesos microfísicos no dependían por completo, al menos en lo que a los organismos vivos se refiere, de la causalidad física. Según dijo, la enteiquia actúa modificando la *temporización* detallada de los procesos microfísicos, desactivándolos y reactivándolos en función de sus necesidades:

«Esta facultad de suspender de forma provisional un devenir inorgánico se considera la característica ontológica más esencial de la enteiquia. La enteiquia, desde nuestro punto de vista, es completamente incapaz de eliminar cualquier “obstáculo” que se presente [...] porque tal eliminación requiere energía y la enteiquia es no energética. Sólo admitimos que la enteiquia puede liberar a la realidad algo que había apartado de la misma, algo que, hasta ese momento, había suspendido».²²

Aunque esta atrevida propuesta de un indeterminismo físico en los organismos vivos parezca, desde el punto de vista de la física clásica determinística, completamente inaceptable, no lo es tanto desde la perspectiva proporcionada por la teoría cuántica. Heisenberg esbozó, en 1927, el principio de incertidumbre y pronto quedó claro que la ubicación y el momento en que se producen los acontecimientos microfísicos sólo pueden predecirse en términos probabilísticos. En 1928, el físico sir Arthur Eddington llegó a especular que la mente influía sobre el cuerpo modificando la configuración de los eventos cuánticos que tenían lugar dentro del cerebro e influyendo causalmente sobre su probabilidad de ocurrencia. «A menos que contradiga su propio nombre, la probabilidad puede verse modificada de un modo que no admitirían las entidades físicas ordinarias.»²³ El neurofisiólogo sir John Eccles también propuso ideas comparables, que resumió del siguiente modo:

«La hipótesis neurofisiológica es que la “voluntad” modifica la actividad espacio-temporal de la red neuronal ejerciendo “campos de influencia” espacio-temporales eficaces a través de esta función detectora única del córtex cerebral activo. Debe advertirse que la “voluntad” o “influencia men-

tal" posee un carácter espacio-temporal pautado que posibilita esta eficacia operativa». ²⁴

Los físicos y los parapsicólogos han esbozado propuestas semejantes aunque más detalladas (véase lo que, al respecto, hemos comentado en la sección 1.8). ²⁵

Podría esbozarse, en línea con estas propuestas, una moderna teoría vitalista basada en la hipótesis de que la entelequia, por utilizar la terminología de Driesch, ordena los sistemas físico-químicos influyendo físicamente sobre sucesos indeterminados dentro de los límites estadísticos establecidos por la causalidad energética. Y, para ello, deben atenerse a una pauta espacio-temporal.

Pero ¿de qué modo adquiere la entelequia esa pauta? La teoría interaccionista de la memoria a la que nos referimos en la sección 1.7 puede sugerirnos alguna respuesta en este sentido. Si los recuerdos no se almacenan físicamente en el cerebro, sino que precisan de alguna acción directa a través del tiempo, ²⁶ no deben hallarse confinados en el cerebro individual, en cuyo caso formarían parte de una especie de memoria "colectiva" y podrían pasar de persona en persona y los heredaríamos de nuestros antepasados.

Estas ideas pueden generalizarse hasta llegar a incluir los instintos de los animales, que pueden ser heredados a través de la memoria colectiva de la especie. En este sentido, un instinto sería como un hábito adquirido no sólo por el individuo, sino por toda la especie.

Son muchos los autores que han propuesto ideas de este tipo. ²⁷ El físico Whately Carrington, por ejemplo, ha sugerido que la conducta instintiva de la araña al tejer su tela «puede deberse a que la criatura individual (la araña, en este caso) está conectada con un sistema mayor (o, si lo preferimos, con un subconsciente común) en el que se almacena toda la expe-

riencia de la especie relacionada con el hecho de tejer una telaraña». ²⁸ Ésta fue una idea sugerida por el zoólogo sir Alister Hardy, señalando que esta experiencia compartida actuaría como una especie de “plantilla psíquica”.

«Existirían dos corrientes paralelas de información: el código del ADN, que proporcionaría la forma física variable de la corriente orgánica orientándose gracias a la selección y la corriente física de la experiencia compartida, la “plantilla” de la especie del subconsciente que, junto al entorno, seleccionaría a los miembros de la población más aptos para seguir adelante.» ²⁹

Según estas sugerencias, la herencia que depende de un proceso no físico semejante a la memoria se halla circunscrita al dominio de la conducta. Una generalización adicional de esta idea incluiría la herencia de la forma que está ligada al concepto de entelequia de Driesch: la pauta característica impuesta por la entelequia sobre un determinado sistema físico-químico dependería de un proceso de memoria que establecería la pauta espacio-temporal de la entelequia. El embrión de erizo de mar, por ejemplo, se desarrolla del modo en que lo hace debido al hecho de que su entelequia incluye el “recuerdo” del proceso de desarrollo seguido por todos los erizos de mar anteriores. Además, los “recuerdos” de las formas larvarias y adultas de los anteriores erizos de mar permitirían a la entelequia orientar el desarrollo hacia los objetivos normales aun en el caso de que el embrión acabara lesionado, explicando así, de algún modo, el fenómeno de la regulación.

Podríamos resumir, pues, una visión vitalista de la morfogénesis diciendo que el genoma especifica todas las posibles proteínas que el organismo puede elaborar. Pero la organiza-

ción de las células, tejidos y órganos y la coordinación de la totalidad del desarrollo del organismo se halla determinada por la entelequia. Esta coordinación se hereda de un modo no material de los miembros anteriores de la misma especie; no es un tipo de materia o de energía, aunque actúa sobre los sistemas físico-químicos del organismo que se hallan bajo su control. Esta acción es posible porque la entelequia actúa como un conjunto de “variables ocultas” que ejercen una influencia sobre los procesos probabilísticos.

Esta teoría no es, en modo alguno, vacía y es muy probable que se vea corroborada de forma experimental, pero el hecho de que sea vitalista la torna fundamentalmente insatisfactoria. La entelequia es, por definición, no física, aunque pueda, según la hipótesis, actuar sobre sistemas materiales proporcionando un conjunto de variables que, desde el punto de vista de la teoría cuántica, estarían ocultas, seguirían siendo probables o improbables. El mundo físico no puede explicarse ni entenderse en términos de entelequia no física, ni viceversa.

Este dualismo, inherente a todas las teorías vitalistas, parece especialmente arbitrario ante los descubrimientos realizados sobre la “autoagregación” de estructuras tan complejas como los ribosomas y los virus, lo que indica una diferencia de grado –aunque no de tipo– con la cristalización. Aunque la autoorganización de los organismos vivos en tanto que totalidad sea más compleja que la de los ribosomas o los virus, existe la suficiente similitud para sugerir que la diferencia al respecto es tan sólo de grado. Esto, al menos, es lo que prefieren pensar los mecanicistas y los organicistas.

Posiblemente aceptaríamos, si no pudiésemos concebir ninguna otra explicación satisfactoria del fenómeno de la vida, una teoría vitalista. Durante los primeros años de este siglo, cuando el vitalismo parecía ser la única alternativa a la teoría mecanicista, logró, a pesar de su dualismo intrínseco, un con-

siderable apoyo. Pero el desarrollo del organicismo que ha tenido lugar durante la última mitad de siglo ha aportado otras posibilidades que, incluyendo muchos aspectos del vitalismo en una visión mayor, ha acabado superándolo.

2.4. EL ORGANICISMO

Las teorías organicistas de la morfogénesis se han desarrollado bajo auspicios muy diversos. Algunas se han derivado de sistemas filosóficos, especialmente los de Alfred North Whitehead y Jan Christian Smuts; otros provienen del ámbito de la física moderna, en particular, del concepto de campo; otras de la psicología de la *gestalt* influida, a su vez, por el concepto de campos físicos y, en otros casos, se han derivado del vitalismo de Driesch.³⁰ Sea como fuere, sin embargo, todas ellas se enfrentan a los mismos problemas que, según Driesch resultan, en términos mecanicistas, insolubles: la regulación, la regeneración y la reproducción. Pero, mientras que Driesch propuso la entelequia no física para explicar las propiedades de totalidad y finalidad exhibidas por los organismos en proceso de desarrollo, los organicistas proponen el concepto de *campos* morfogenéticos (o de campos embrionarios o de campos del desarrollo).

Esta idea fue sugerida independientemente por Alexander Gurwitsch en Rusia en 1922,³¹ Hans Spemann en Alemania en 1924 y Paul Weiss en Austria en 1926,³² grandes biólogos del desarrollo, todos ellos, hasta el punto de que Spemann se vio recompensado, en 1935, con el Premio Nobel por su trabajo sobre la embriología. Pero aparte, sin embargo, de afirmar que los campos morfogenéticos desempeñan un papel importante en el control de la morfogénesis, ninguno de ellos especificó de qué se trataban ni el modo en que funcionaban.

Y, aunque la terminología de los campos, no tardó en verse adoptada por los biólogos del desarrollo, siguió estando mal definida, aunque sirvió para sugerir analogías entre las propiedades de los organismos vivos y las de los sistemas inorgánicos electromagnéticos. Si, por ejemplo, cortamos un imán en dos partes, creamos dos imanes, cada uno de los cuales posee su propio campo magnético. Y, si luego unimos los dos imanes en la orientación adecuada, formamos un solo imán con un campo magnético unificado. De manera parecida, se sugería que el campo morfogenético explicaba la “totalidad” de las partes separadas de organismos que eran capaces de crear nuevos organismos y de la capacidad de las partes de los organismos de formar, al unirse, una totalidad unificada.

El biólogo británico Conrad Hal Waddington sugirió ampliar la idea del campo morfogenético de modo que incluyese el aspecto temporal del desarrollo. A este nuevo concepto le dio el nombre de *creoda* (del griego *chre*, que significa “necesario” y *hodos*, que significa “ruta” o “camino”, y lo ilustró mediante un simple “paisaje epigenético” tridimensional (figura 5).³³

El camino seguido por la bola durante su descenso, en este modelo, corresponde a la historia del desarrollo de una parte determinada de un huevo. A medida que el proceso embriológico avanza, van apareciendo ramificaciones, representadas por los diferentes valles, que se corresponden con los caminos del desarrollo seguidos por los diferentes tipos de órganos, tejidos o células. En el organismo, son muy diferentes; por ejemplo, el riñón y el hígado presentan estructuras definidas sin camino que las interrelacione. De este modo, el desarrollo va *encauzándose* hacia puntos finales definidos. Los cambios genéticos o las perturbaciones ambientales pueden hacer que el curso del desarrollo (representado por el camino seguido por la bola) se aleje camino arriba hacia la siguiente

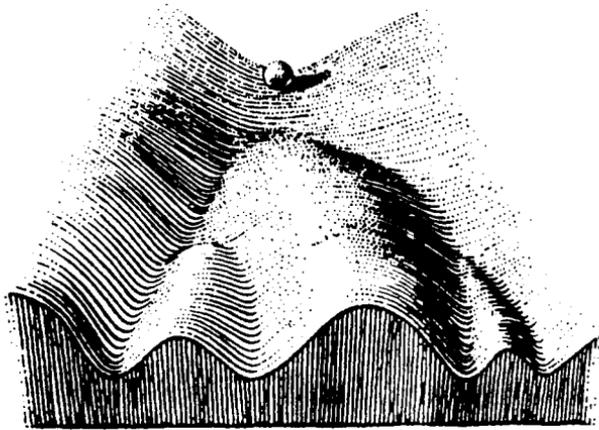


FIGURA 5. Parte de un "paisaje epigenético", en el que se ilustra el concepto de creoda como vía canalizada de cambio. (De Waddington, 1957. Reproducida por cortesía de George Allen & Unwin, Ltd.)

colina, pero, a menos que supere el umbral que le permita llegar a otro valle, el proceso de desarrollo volverá hacia atrás. Pero ello no implica, no obstante, regresar al punto de partida, sino a alguna posición más avanzada del camino encauzado del cambio. Y esa imagen representa perfectamente la regulación.

El concepto de creoda es muy semejante al de campo morfogenético, pero, en este caso, se explicita la dimensión temporal que en aquél sólo se halla implícita.

Recientemente, ambos conceptos han sido considerados por el matemático René Thom como parte de un intento comprensivo de elaborar una teoría matemática que no sólo abarque la morfogénesis, sino también la conducta y el lenguaje.³⁴ Su objetivo principal ha sido el de elaborar un formalismo matemático apropiado para estos problemas que, hasta

el momento, se han resistido al abordaje matemático. El objetivo final ha sido el de generar modelos matemáticos que reprodujesen lo más fielmente posible los procesos de desarrollo. Estos modelos serían topológicos, más cualitativos que cuantitativos y no dependerían de ningún esquema particular de explicación causal: «Un rasgo esencial de nuestro uso de los modelos locales es que no implica nada sobre “la naturaleza última de la realidad”; aun en el caso de que esto se revele por un análisis complejo más allá de la mera descripción, sólo una parte de su manifestación, los denominados observables, resulta, en última instancia, relevante para la descripción macroscópica del sistema. La fase espacial de nuestro modelo dinámico se define utilizando únicamente dichos observables, sin referencia alguna a estructuras subyacentes más o menos caóticas».³⁵

Los modelos matemáticos de Thom eran dinámicos en el moderno sentido matemático del término.³⁶ Los sistemas dinámicos evolucionan hacia *atractores* y Thom conectaba explícitamente sus modelos con la idea de creoda de Waddington con un punto final hacia el que el sistema avanza y se dirige.³⁷

El problema con este enfoque es que, siendo esencialmente descriptivo, no contribuye gran cosa a *explicar* la morfogénesis. Y esto es, precisamente, lo mismo que ocurre con todas las teorías organicistas de la morfogénesis. Comparemos, por ejemplo, los atractores de Thom con la creoda de Waddington o la entelequia de Driesch. Todas ellas incluyen la idea de que el desarrollo se ve guiado o encauzado en el espacio y el tiempo por algo que no puede considerarse confinado a un tiempo y espacio definidos; todas ellas creen que ese algo incluye, en sí mismo, el fin u objetivo del proceso de desarrollo y todas ellas proporcionan, en suma, una forma de pensar en la regulación y la regeneración. La principal diferencia entre

ellas es que Driesch, a diferencia de Waddington y Thom, trató de explicar el modo en que funcionaba el proceso que proponía. Y es precisamente debido a su vaguedad que el concepto de creoda es menos proclive al ataque.³⁸ De hecho, Waddington consideraba los conceptos de creoda y de campo morfogenético como «una mera convención descriptiva».³⁹ Como otros organicistas, negaba que estuviese sugiriendo la intervención de causas ajenas a las causas físicas conocidas.⁴⁰

Pero no todos los organicistas subrayan esta negación, sino que algunos dejan la cuestión abierta. Veamos ahora, para ilustrar esta actitud explícitamente no comprometida, el siguiente comentario sobre el campo morfogenético llevado a cabo por el biólogo británico Brian Goodwin:

«Un aspecto del campo es que puede verse afectado por las fuerzas eléctricas. Se han encontrado otros organismos en proceso de desarrollo y regeneración que presentan interesantes y significativas pautas eléctricas, aunque no quiero, con ello, dar a entender que el campo morfogenético sea esencialmente eléctrico. Las sustancias químicas también modifican la polaridad y otros aspectos espaciales de los organismos que se hallan en proceso de desarrollo. Y tampoco quisiera, con ello, indicar que el campo morfogenético sea de naturaleza esencialmente químico o bioquímico. Creo que su estudio debería basarse en la suposición de que puede ser una, todas o ninguna de estas cosas. Pero, a pesar del agnosticismo relativo a su naturaleza material, lo cierto es que desempeña un papel primordial en el proceso de desarrollo».⁴¹

El hecho de que se trate de un concepto abierto lo convierte en el punto de partida más prometedor para una teoría organicista detallada de la morfogénesis. Pero, si consideramos

que los campos morfogenéticos son totalmente explicables en términos de principios físicos conocidos, lo cierto es que no representan sino una terminología ambigua que se superpone a una versión sofisticada de la teoría mecanicista. Sólo si asumimos que desempeñan un papel causal no admitido, por el momento, por la física, podríamos elaborar una teoría susceptible de corroboración. Ésta será, precisamente, la posibilidad que examinaremos en los siguientes capítulos.

Es urgente, desde la perspectiva de la moderna biología evolutiva del desarrollo, explorar la naturaleza de los campos morfogenéticos. Con el avance de la biología molecular que tuvo lugar entre las décadas de 1970 y 1990, el concepto de campos morfogenéticos se vio eclipsado en favor del de genes. Pero, en la medida en que las limitaciones del enfoque molecular van poniéndose de manifiesto, los campos morfogenéticos han vuelto a reaparecer como un concepto fundamental para la comprensión del desarrollo. La formación de estructuras completas como las alas o las antenas de la mosca de la fruta puede verse “activada” o “desactivada” por mutaciones en la “caja de herramientas” genética. El campo morfogenético se comporta como una totalidad y los interruptores genéticos se denominan ahora “genes selectores de campo”.⁴² El desarrollo es “modular”.⁴³

En el contexto de la evolución, los campos morfogenéticos asumen un papel explicativo cada vez más importante. Como ha señalado Scott Gilbert y sus colegas:

«Caminos de un desarrollo homólogo [...] pueden verse en numerosos procesos embrionicos y parecen ocurrir en regiones discretas, los llamados campos morfogenéticos. Se supone que estos campos (que ilustran la naturaleza modular de los embriones que se hallan en proceso de desarrollo) intermedian entre genotipo y fenotipo. Del mismo modo que

la célula (y no su genoma) funciona como la unidad de estructura y función orgánica, el campo morfogenético (y no los genes ni las células) es una unidad mayor de la ontogenia [desarrollo], cuya modificación acaba provocando cambios en la evolución».⁴⁴

¿Qué son estos campos y cómo funcionan? No podemos responder a estas preguntas sin echar antes un vistazo a la gran cuestión de la causación de la forma.

3. LAS CAUSAS DE LA FORMA

3.1. EL PROBLEMA DE LA FORMA

No es evidente que la forma suponga algún problema. El mundo que nos rodea está lleno de formas y las reconocemos en cada acto de percepción. Pero solemos olvidar muy pronto el abismo que separa esta faceta de nuestra experiencia, que damos demasiado rápidamente por sentada, de los factores cuantitativos que la vinculan con la física (como la masa, el momento, la energía, la temperatura, la presión, la carga eléctrica, etc.).¹

Podemos expresar matemáticamente la relación existente entre las dimensiones cuantitativas de la física y emplear ecuaciones para describir los cambios físicos. La elaboración de estas ecuaciones es posible porque las cantidades físicas fundamentales se conservan ateniéndose a los principios de conservación de la masa, la energía, el momento, la carga eléctrica, etc., según los cuales, la cantidad total de masa, energía, momento, carga eléctrica, etc., antes de un cambio físico es igual a la cantidad total después de dicho cambio. Pero lo cierto es que, al no tratarse de una magnitud escalar ni vectorial, la forma no interviene en ninguna de esas ecuaciones ni tampoco se conserva. Si arrojamos, por ejemplo, un ramo de flores a un horno, queda reducido a cenizas y, aunque la cantidad total de materia y energía se conserve, su forma, no obstante, acaba desapareciendo.

Existen instrumentos que nos permiten medir con cierto grado de precisión las cantidades físicas, pero no existe esca-

la cuantitativa que nos permita medir las formas, ni necesidad alguna, ni siquiera entre los científicos, de hacerlo así. Los botánicos no miden la diferencia existente entre dos especies recurriendo, para ello, al dial de un instrumento, ni los entomólogos, anatomistas e histólogos utilizan máquinas para reconocer, respectivamente, mariposas, huesos y células. Todas estas formas se reconocen directamente. Los especímenes de plantas se conservan en herbarios, las mariposas y los huesos en armarios y las células en preparados microscópicos. Las formas no pueden reducirse a otra cosa. De hecho, la descripción y clasificación de las formas es el objetivo principal de muchas ramas de la ciencia. Uno de los principales objetivos de una ciencia como la química consiste en dilucidar la forma de las moléculas y en representarlas mediante diagramas en "fórmulas estructurales" bidimensionales o a través de modelos tridimensionales del tipo "bolas y palillos".

El único modo de representar la forma de un sistema es visualmente, mediante fotografías, dibujos, diagramas o modelos. No hay modo matemático alguno de representar las formas. Ni aun los más avanzados métodos matemáticos se hallan lo bastante desarrollados como para proporcionarnos la fórmula matemática exacta que nos permita explicar adecuadamente una jirafa o un roble, pongamos por caso.²

Si la simple descripción de las formas estáticas, excluyendo las más simples, supone un problema matemático de extraordinaria complejidad, la descripción de los cambios de forma, es decir, de la morfogénesis, todavía resulta más difícil. De este tema se ocupa precisamente la "teoría de las catástrofes" de René Thom, que clasifica y describe de manera general los posibles tipos de cambio de forma o "catástrofes". Thom aplica su teoría a los problemas de la morfogénesis es-

bozando modelos matemáticos mediante los que representa el final u objetivo de un determinado proceso morfogenético como un "atractor" ubicado en el seno de un campo morfogenético. Thom postula, en este sentido, que cada objeto o forma física puede representarse mediante tal atractor y que toda morfogénesis «puede describirse mediante la desaparición de los atractores que representan formas iniciales y su reemplazo por captura de los atractores que representan las formas finales».³

Para desarrollar modelos topológicos que se correspondan con determinados procesos morfogenéticos, se elaboran, inspirándose en meras conjeturas, fórmulas a través de una combinación de ensayos y errores. Si una determinada expresión matemática proporciona demasiadas soluciones, se introducen restricciones y, en caso contrario, su formulación se generaliza. Thom cree que, gracias a este tipo de métodos, podremos finalmente elaborar expresiones topológicas que se correspondan más detalladamente con procesos morfogenéticos reales. Pero es muy probable que, aun en tal caso, dichos modelos sigan sin permitirnos esbozar predicciones cuantitativas. Su principal valor podría radicar en llamar la atención sobre las analogías formales existentes entre diferentes tipos de morfogénesis.⁴

Es posible que, a primera vista, el formalismo matemático de la teoría de la información parezca preferible a este método topológico. Pero lo cierto es que la teoría de la información resulta, de hecho, muy limitada. Se vio originalmente desarrollada por ingenieros de telecomunicación en relación con la transmisión de mensajes desde un emisor, a través de un canal, hasta un receptor y se hallaba principalmente preocupada por las restricciones que el canal puede imponer a la cantidad de información que se transmite en un determinado tiempo. Uno de sus resultados básicos es que, en un siste-

ma cerrado, no puede transmitirse más información al receptor que la contenida en el emisor, por más que cambiemos la forma de esa información sustituyendo, por ejemplo, por palabras los puntos y rayas del código Morse. El contenido de información de un suceso no se define tanto por lo que ha ocurrido, como por lo que podría haber ocurrido. Con este propósito suelen utilizarse símbolos binarios y el contenido de información que posee una determinada pauta depende del número de decisiones afirmativas o negativas necesarias para especificar el tipo de pauta concreta que haya ocurrido.

Esta teoría es importante, en el campo de la biología, en lo que respecta al estudio cuantitativo de la transmisión de impulsos por las fibras nerviosas y también posee, en menor medida, cierta importancia en la transmisión de una secuencia de bases desde el ADN de los progenitores hasta el ADN de su descendencia, aunque, en un caso tan sencillo como éste, puede resultar muy engañosa porque, en los organismos vivos, suceden cosas que no ocurren en los cables telefónicos: los genes sufren mutaciones, partes de cromosomas experimentan inversiones, translocaciones, etc. Pero la teoría de la información no es relevante en el caso de la morfogénesis biológica, porque únicamente se aplica a la transmisión de información en sistemas cerrados y no permite, durante ese proceso, ningún aumento en el contenido de información.⁵ Los organismos en proceso de desarrollo no son sistemas cerrados y su desarrollo es epigenético, lo que significa que, con el paso del tiempo, su forma y complejidad aumentan. Y, por más que los biólogos hablen a menudo de “información genética”, de “información posicional”, etc., como si dichos términos poseyeran algún significado bien definido, lo cierto es que ésa es una mera ilusión que se limita al uso de la jerga de la teoría de la información, olvidándose de su rigor.

Pero, aunque hubiese algún método que nos permitiese diseñar modelos matemáticos detallados de los procesos morfogénéticos que nos sirviesen para esbozar predicciones que coincidiesen con los datos experimentales, todavía quedaría por aclarar a qué corresponden esos modelos. Y lo mismo podríamos preguntarnos con respecto a la correspondencia existente entre los modelos matemáticos y las observaciones empíricas realizadas en cualquier rama de la ciencia.

El misticismo matemático de tipo pitagórico proporciona una respuesta: se considera que el universo depende de un orden matemático fundamental que, de algún modo, da lugar a todos los fenómenos empíricos, un orden trascendente que sólo se revela y comprende a través de métodos matemáticos. Y, aunque ésta sea una actitud que rara vez se adopte de un modo explícito, ejerce una gran influencia en la ciencia moderna que se encuentra, muy a menudo, de forma más o menos disfrazada, entre matemáticos y físicos.⁶

Otra explicación de esa correspondencia puede encontrarse en la tendencia de la mente a buscar y buscar orden en la experiencia: las estructuras ordenadas de las matemáticas, creaciones de la mente humana, se superponen a la experiencia y, de ese modo, nos permiten rechazar las que no encajan. Así es como van adoptándose, a través de un proceso semejante a la selección natural, las fórmulas matemáticas que mejor encajan. Desde este punto de vista, la actividad científica sólo se refiere al desarrollo y la demostración empírica de los modelos matemáticos de aspectos definibles y más o menos aislados del mundo y jamás podrá conducirnos a una comprensión fundamental de la realidad.

En lo que respecta, sin embargo, al problema de la forma, existe un tipo diferente de método para el que no necesitamos aceptar el misticismo pitagórico ni renunciar a la posibilidad de alcanzar una explicación. Si queremos entender la forma

de las cosas, no tenemos que explicarlas en términos de *números*, sino de *formas* más fundamentales. Platón consideraba que las formas del mundo de la experiencia sensorial eran reflejos imperfectos de formas o ideas arquetípicas trascendentes. Pero esta doctrina, muy influenciada por el misticismo pitagórico, no explicaba la relación existente entre las formas eternas y el mundo cambiante de los fenómenos. Aristóteles creía que este problema podía solucionarse considerando que las formas de las cosas no son trascendentes, sino inmanentes: las formas específicas no sólo se hallan implícitas en el alma de los seres vivos, sino que las llevan a *asumir* su forma característica.

En el sistema de Driesch, explícitamente basado en el de Aristóteles, las formas específicas de los organismos vivos se ven causadas por un agente no energético, la entelequia. Los campos morfogenéticos y las creodas de los biólogos organicistas desempeñan un papel similar, guiando los procesos morfogenéticos hacia formas finales concretas. Pero, hasta el momento, sin embargo, desconocemos su naturaleza.

Este desconocimiento puede deberse, en parte, a la tendencia platónica de muchas ideas organicistas,⁷ evidentes en el sistema filosófico de Whitehead, según el cual los sucesos reales implicaban lo que él llamaba objetos eternos, que colectivamente configuran el dominio de lo posible e incluyen todas las formas posibles y recuerdan mucho, por cierto, a las formas platónicas.⁸ Pero la noción metafísica de los campos morfogenéticos como aspectos de formas platónicas u objetos eternos sería naturalmente de poca ayuda para la ciencia experimental. Sólo si se consideran como entidades físicas que producen efectos físicos, pueden contribuir a nuestra comprensión científica de la morfogénesis.

La filosofía organicista abarca los campos de la biología y la física. Si suponemos, por tanto, que los campos morfo-

néticos desempeñan un papel causal en la morfogénesis biológica, también deben desempeñar un papel causal en la morfogénesis de sistemas más sencillos como los cristales y las moléculas. Y, como dichos campos no son reconocidos por las actuales teorías físicas, es importante considerar hasta qué punto esas teorías son capaces de explicar la morfogénesis de sistemas estrictamente químicos. Si son capaces de proporcionarnos una explicación adecuada, la idea de los campos morfogenéticos está de más, pero, en caso contrario, queda el camino expedito para nuevas hipótesis de la causalidad de la forma mediante campos morfogenéticos tanto en sistemas biológicos como en sistemas no biológicos.

3.2. FORMA Y ENERGÍA

La causalidad, para la física newtoniana, es una cuestión de *energía*, el principio del movimiento y el cambio.

Cualquier objeto en movimiento posee energía —la energía cinética de los cuerpos en movimiento, la vibración térmica y la radiación electromagnética— que puede llevar a otros objetos a moverse. También los objetos estadísticos poseen energía, una energía potencial que se debe a su tendencia a moverse y sólo permanecen estáticos porque se ven frenados por fuerzas que se oponen a esa tendencia.

Se creía que la atracción gravitatoria dependía de una fuerza que actuaba a distancia y que hacía que los cuerpos se movieran o les confería una tendencia a moverse, una energía potencial. Pero la ciencia no podía, sin embargo, explicar racionalmente esa fuerza de atracción. Hoy en día, sin embargo, los efectos gravitatorios y electromagnéticos se explican en términos de *campos*. Mientras que se suponía que las fuerzas newtonianas brotaban de manera desconocida de los cuer-

pos materiales y se propagaban por el espacio, esos campos son, para la física moderna, primarios, subyacen a los cuerpos materiales y llenan incluso el espacio que los separa.

Esta imagen se complica por la existencia de diferentes tipos de campos. En primer lugar, el campo gravitatorio que, en el caso de la teoría general de la relatividad de Einstein, se equipara al espacio-tiempo y se curva en presencia de la materia. En segundo lugar, el campo electromagnético, en el que se ubican las cargas eléctricas y a través del cual se propagan, a modo de perturbaciones vibracionales, las radiaciones electromagnéticas que, según la teoría cuántica, son fotones semejantes a partículas asociadas a cuantos discretos de energía. En tercer lugar, en la teoría de los campos cuánticos de materia, las partículas subatómicas son cuantos de excitación de los campos de materia. Cada tipo de partícula posee su propio tipo de campo: un protón es un cuanto del campo protón-antiprotón, un electrón es un cuanto del campo electrón-positrón, etc.

En estas teorías, los fenómenos físicos no se explican exclusivamente en términos de energía, sino a través de una combinación de campos y energía. Por ello, aunque la energía puede ser considerada como la causa del cambio, el *orden* de ese cambio depende de la estructura espacial de los campos. Estas estructuras ejercen efectos físicos, pero no son, en sí mismas, un tipo de energía, sino que actúan como causas espaciales o "geométricas". La diferencia radical existente entre esta idea y la noción de causalidad exclusivamente energética se ilustra por el contraste que hay entre las teorías de la gravitación de Newton y de Einstein. Según la primera, por ejemplo, la Luna se mueve alrededor de la Tierra porque se ve atraída hacia ésta por una fuerza de atracción, mientras que, según la segunda, la Luna gira alrededor de la Tierra, porque el espacio en que se mueve es curvo.

La comprensión moderna de la estructura de los sistemas químicos depende de conceptos procedentes de los campos de la mecánica cuántica y el electromagnetismo, ya que, comparativamente hablando, los efectos de la gravitación son tan pequeños que pueden desdeñarse. Las posibles formas en que pueden combinarse los átomos vienen establecidas por la ecuación de Schrödinger de la mecánica cuántica, que nos permite expresar en términos probabilísticos los orbitales de los electrones que, en la teoría de los campos de materia, se consideran estructuras del campo electrón-positrón. Pero, como los electrones y los núcleos átomos se hallan eléctricamente cargados, también tienen que ver con pautas espaciales del campo electromagnético y, por tanto, con energías potenciales. No todas las posibles configuraciones espaciales de un determinado número de átomos poseen la misma energía potencial y sólo aquéllas con menor energía potencial permanecen, por las razones indicadas en la figura 6, estables. Si un determinado sistema se encuentra, entre dos estados alternativos, en el más energético cualquier pequeña modificación (como, por ejemplo, una agitación térmica) hará que pase a otro estado (A). Si, por el contrario, se encuentra en el estado menos energético de todos los posibles, no tardará en recuperar, tras una pequeña alteración, el estado de mayor estabilidad (B). Y un sistema, por último, también puede asumir

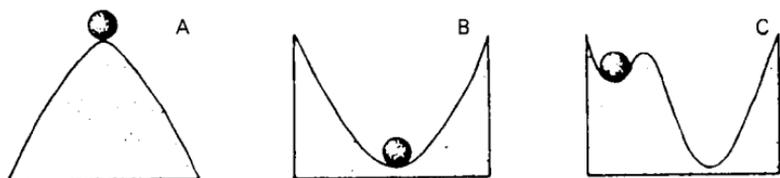


FIGURA 6. Representación esquemática de un estado inestable (A), de un estado estable (B) y de un estado parcialmente estable (C).

provisionalmente un estado que, siempre que no supere un determinado umbral "barrera" (C), no sea el más estable porque, cuando tal cosa ocurre, pasa a un estado de menor energía.

Pero, aunque estas consideraciones energéticas nos ayuden a determinar cuál es el más estable de los estados de una estructura química, no nos proporcionan la menor explicación de sus características espaciales que, en la figura 6, se representan por las pendientes por las que la bola se desliza, que actúan a modo de barreras y la confinan a un determinado espacio. Esto depende de las pautas espaciales establecidas por los campos de la materia y el electromagnetismo.

Según la segunda ley de termodinámica, los procesos espontáneos que se producen dentro de un sistema cerrado tienden a asumir un estado de equilibrio. Así es como acaban desapareciendo las diferencias iniciales de temperatura, presión, etc., existentes entre las distintas regiones del sistema. Desde una perspectiva técnica, la entropía de un sistema macroscópico cerrado permanece constante o aumenta.

El lenguaje popular suele exagerar la importancia de esta ley y, más en particular, del término entropía, que acaba considerándose como un sinónimo de "desorden". De este modo, la creciente complejidad organizativa que aparece durante la evolución y el desarrollo de los organismos vivos parece contradecir el principio que afirma el aumento de la entropía. Pero esta confusión se origina de una interpretación incorrecta de las limitaciones de la termodinámica. En primer lugar, sólo se aplica a sistemas cerrados, mientras que los organismos vivos son sistemas abiertos, que intercambian materia y energía con el medio que les rodea. En segundo lugar, únicamente se refiere al intercambio de calor y otras formas de energía que, si bien tiene que ver con los factores energéticos que afectan a las estructuras químicas y biológicas, no explica su

existencia. Y la definición técnica de entropía, en tercer lugar, guarda poca relación con cualquier concepción no técnica del desorden; en particular, no se refiere al tipo de orden inherente en las estructuras específicas de los sistemas químicos y biológicos. Según la tercera ley de la termodinámica, la entropía de todos los sólidos cristalinos puros es, en el cero absoluto, nula. En tal caso, se hallan, desde una perspectiva termodinámica, perfectamente "ordenados", porque no existe desorden alguno debido a la agitación térmica. Y todas las sustancias también están, en tal caso, igualmente ordenadas, sin que haya diferencia de entropía alguna entre un simple cristal de sal marina y una macromolécula compleja como la hemoglobina. Por ello no hay modo alguno, en términos de entropía, de reflejar la mayor complejidad estructural de ésta.

El proceso de cristalización ilustra el contraste existente entre el "orden" en cuanto a estructura química o biológica y el "orden" termodinámico provocado por diferencias de temperatura, etc., de un gran sistema compuesto por innumerables átomos y moléculas. Si colocamos una solución salina en un plato y luego la ubicamos en un recipiente frío, la sal va cristalizándose en la medida en que la solución se enfría. Inicialmente, los iones que la constituyen se distribuyen aleatoriamente por toda la solución, pero, en la medida en que prosigue la cristalización, se ordenan con gran regularidad y los cristales acaban convirtiéndose en estructuras simétricas macroscópicas. Desde una perspectiva morfológica se ha producido, a lo largo de todo este proceso, un considerable aumento de orden, pero, desde un punto de vista termodinámico, ha tenido lugar una pérdida de "orden", un aumento de la entropía, debido a que se han igualado las temperaturas de la solución y de su entorno y al hecho de que, durante el proceso de cristalización, se ha liberado calor.

Cuando, de forma parecida, el embrión de un animal crece y se desarrolla, tiene lugar un aumento en la entropía del sistema termodinámico compuesto por el embrión y el entorno del que obtiene alimento y al que vierte calor y los productos que excreta. Y, si bien la segunda ley de la termodinámica subraya la dependencia de los seres vivos de las fuentes externas de energía, no explica, no obstante, sus formas concretas.

La forma y la energía guardan, hablando en términos generales, una relación inversa. La energía es el principio del cambio, pero una forma de estructura sólo puede existir en la medida en que posee cierta estabilidad y resistencia al cambio. Esta oposición resulta muy evidente en la relación existente entre los estados de la materia y la temperatura. A temperaturas suficientemente bajas, las sustancias adoptan formas cristalinas en las que la organización molecular presenta un elevado grado de regularidad y orden. En la medida en que aumenta la temperatura, sin embargo, la energía térmica provoca, a partir de un determinado punto, la disgregación de la forma cristalina y el sólido acaba fundiéndose. En estado líquido, las moléculas se organizan en pautas provisionales que cambian y se modifican de continuo. Las fuerzas que se establecen entre las moléculas originan una tensión superficial que proporciona, a la totalidad del líquido, formas muy sencillas como, por ejemplo, gotas esféricas. En el caso de que la temperatura siga aumentando, el líquido acababa evaporándose. En el estado gaseoso, las moléculas están separadas y se comportan de un modo más o menos independiente. A temperaturas todavía más elevadas, las moléculas se disgregan en átomos, y, a temperaturas aún más elevadas, hasta los átomos acaban desintegrándose y formando una mezcla gaseosa de electrones y núcleos atómicos, es decir, un plasma.

La observación de esta misma secuencia en sentido inverso nos permite advertir la emergencia de estructuras más complejas y organizadas en la medida en que disminuye la temperatura formándose, en primer lugar, las más estables y las menos estables en último. Cuando el plasma se enfría, los electrones se agrupan en torno al núcleo atómico y empiezan a girar en determinados orbitales. A temperaturas todavía más bajas, los átomos se agrupan en moléculas. Luego, en la medida en que el gas se condensa en gotitas, entran en juego las fuerzas supramoleculares. Y cuando, por último, el líquido cristaliza, acaba alcanzándose un grado muy elevado de orden supramolecular.

Estas formas emergen espontáneamente. No pueden explicarse en términos de energía externa, salvo de un modo negativo, en el sentido de que únicamente pueden formarse y mantenerse a determinada temperatura. Sólo pueden explicarse en términos de energía interna en la medida en que, de todas las posibles configuraciones estructurales, la única estable es la de menor energía potencial. A ello precisamente se debe que ésa sea la estructura que tienda a formarse espontáneamente.

3.3. LA PREDICCIÓN DE LOS CRISTALES

La mecánica cuántica puede describir con cierto detalle los orbitales electrónicos y los estados energéticos del más simple de todos los sistemas químicos: el átomo de hidrógeno. Pero las cosas ya no son tan fáciles con átomos más complejos o con las moléculas químicas más sencillas. La complejidad de los cálculos necesarios aumenta entonces exponencialmente y sólo podemos contentarnos con métodos meramente tentativos. Y tal alternativa resulta, en el caso de moléculas y cris-

tales complejos, imposible. La estructura de las moléculas y la configuración atómica de los cristales pueden verse descubiertas empíricamente mediante métodos químicos y cristalógrafos. Pero aunque, basándose en leyes empíricas, los químicos y cristalógrafos puedan predecir aproximadamente esas estructuras, ello no implica que la ecuación de onda de Schrödinger pueda proporcionarnos una explicación fundamental de las estructuras químicas.

Es importante comprender esta grave limitación de la mecánica cuántica. Ciertamente contribuye a proporcionar una explicación semicuantitativa de los vínculos químicos y de ciertos aspectos de los cristales, como la diferencia entre conductores y aislantes eléctricos. Pero lo cierto es que no nos ayuda a entender, partiendo de principios básicos, las formas y propiedades de las moléculas y los cristales más simples. Y la situación resulta todavía peor en lo que respecta al estado líquido, del que todavía no tenemos una explicación cuantitativa satisfactoria. Y es ilusorio creer que la mecánica cuántica llegará un buen día a explicar detallada y rigurosamente las formas y propiedades de las moléculas muy complejas y de los agregados macromoleculares estudiados por los bioquímicos y los biólogos moleculares, por no mencionar la inmensa complejidad de las formas y propiedades de las más sencillas de las células vivas.

La opinión de que la química proporciona un fundamento sólido para la concepción mecanicista de la vida se halla tan generalizada que tal vez sea necesario subrayar lo débiles que son los cimientos físicos sobre los que se asienta la química. En palabras de Linus Pauling:

«Podemos creer en la física teórica que afirma que todas las propiedades de las sustancias pueden calcularse mediante métodos conocidos, como la ecuación de onda de Schrödin-

ger. Pero hemos observado que, durante los treinta años transcurridos desde el descubrimiento de la ecuación de Schrödinger, sólo se han efectuado unos cálculos precisos y no empíricos de mecánica cuántica sobre las propiedades de las sustancias que son objeto de estudio por parte de la química. La química depende todavía de la experimentación en lo que respecta a la mayor parte de información sobre las propiedades de las sustancias».⁹

Son muchas las mejoras en los métodos de cálculo aproximado de que disponen los químicos cuánticos y extraordinarios avances en la capacidad de los ordenadores durante los cincuenta años transcurridos desde el momento en que este párrafo se publicó. Ahora es posible determinar de manera muy precisa alguna de las propiedades químicas de moléculas sencillas, como el monóxido de carbono (CO) y con métodos más aproximados varias propiedades cuantitativas de moléculas como el metano (CH₄) y el amoníaco (NH₃).¹⁰ A pesar de ello, sin embargo, sigue siendo cierto que, en su comprensión de las propiedades y estructuras de las moléculas, los químicos todavía deben confiar más en la observación empírica que en los cálculos.

Cualquiera puede argumentar que, en principio, esos cálculos son posibles. Pero aun aceptando tal posibilidad, no podemos saber de antemano si serían *correctos*, es decir, si coincidirán con la observación empírica. Carecemos, por el momento, de cualquier prueba que demuestre la validez de la creencia de que las teorías físicas existentes nos permitirían conocer la estructura biológica y molecular de los compuestos químicos complejos.

Tal vez esa dificultad, cuando no esa imposibilidad, de predecir la forma de una estructura química compleja en función de las propiedades de los átomos que la constituyen pueda

entenderse mejor mediante un ejemplo. Consideremos unos pocos ladrillos que puedan unirse longitudinal o lateralmente (figura 7). Con dos ladrillos tenemos $2^2 = 4$ combinaciones posibles; con tres, $2^3 = 8$; con cuatro, $2^4 = 16$; con cinco, $2^5 = 32$; con diez, $2^{10} = 1.024$; con veinte, $2^{20} = 1.048.576$; con treinta, $2^{30} = 1.073.741.824$, y así sucesivamente. El número de posibilidades no tarda en ser enorme.

2 bloques: $2^2 = 4$ combinaciones



3 bloques: $2^3 = 8$ combinaciones



4 bloques: $2^4 = 16$ combinaciones



5 bloques: $2^5 = 32$ combinaciones



FIGURA 7. Diferentes combinaciones posibles de la unión de un distinto número de ladrillos.

La diferente disposición de los átomos de un sistema químico le confiere diferentes energías potenciales. Un sistema químico tiende espontáneamente, debido a las interacciones eléctricas y de otro tipo que se establecen entre sus átomos, a adoptar la estructura que posea menor energía potencial. Es probable que, en un sistema sencillo que disponga de pocas alternativas, una de ellas tenga menos energía que el resto. Ésta es una situación que el caso A de la figura 8 representa mediante el mínimo en el fondo del "pozo de potencial" y otras posibilidades menos estables se representan mediante mínimos locales a ambos lados del "pozo". El número de posibles estructuras es obviamente mayor en sistemas de mayor complejidad (figura 8 B, C, D), al tiempo que parece reducirse la posibilidad de que exista una *única* estructura de energía mínima. La situación representada por el caso D de la figura 8 presenta varias alternativas que, desde una perspectiva energética, son igualmente estables. Si el sistema adoptara alguna de estas posibles estructuras al azar o si fluctuase entre ellas, no habría problema alguno. Pero la adopción exclusiva de una de dichas estructuras indicaría que no es la energía, sino otro factor, lo que determina la adopción de ésta y no de otras posibilidades. Pero los físicos no admiten la existencia de ese tipo de factores.

A pesar de que ni químicos, ni cristalógrafos, ni especialistas en biología molecular se hallen en condiciones de llevar a cabo los cálculos necesarios para identificar a priori la estructura o estructuras de menor energía que pueda asumir un determinado sistema, son varios los métodos aproximados que, sobre la estructura de sustancias similares, pueden emplearse para ello, en combinación con datos empíricos. Estos datos, hablando en términos generales, no permiten (salvo en los casos más sencillos) predecir estructuras únicas, sino tan sólo abrir el abanico de posibles estructuras con

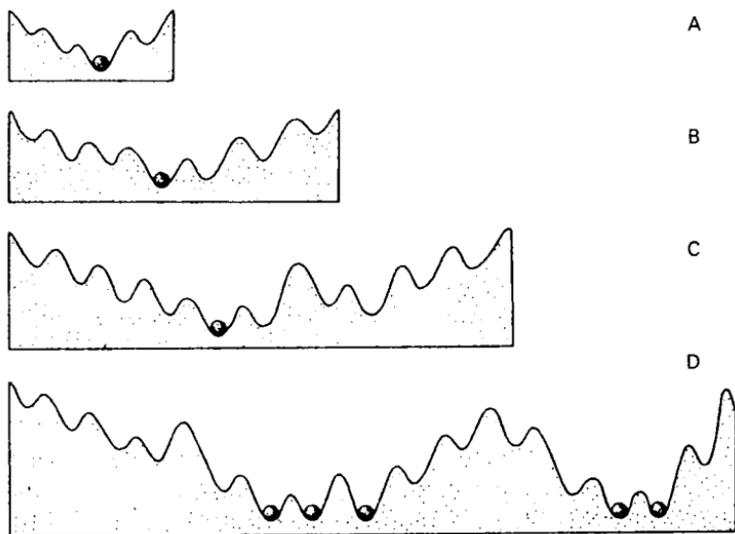


FIGURA 8. *Representación esquemática de las posibles estructuras de sistemas de complejidad creciente. En A, sólo hay una única estructura de energía mínima, pero, en D, son varias las posibles estructuras equiparables.*

energías mínimas equiparables. Estos resultados aproximados parecen respaldar la idea según la cual las consideraciones energéticas resultan insuficientes para explicar la estructura única de un sistema químico complejo. Pero esta conclusión siempre puede eludirse reafirmando que la única estructura estable debe tener menos energía que cualquier otra estructura posible. Esta afirmación no ha podido refutarse porque, en la práctica, sólo pueden emplearse métodos de cálculo aproximados. Por ello la estructura única puede atribuirse siempre a sutiles efectos energéticos que escapan a todo cálculo.

El siguiente comentario de Pauling ilustra la situación al respecto en lo que a la estructura de los cristales inorgánicos se refiere:

«Son pocas las alternativas estructurales de que disponen las sustancias iónicas simples como los halogenuros alcalinos. Y ello es así porque hay pocas configuraciones iónicas relativamente estables que se correspondan con fórmulas del tipo M^+X^- y los factores que influyen en la estabilidad del cristal se oponen entre sí, sin que ningún factor encuentre una expresión clara en el momento de decidir entre las configuraciones que asumen, por ejemplo, el cloruro de sodio y del cloruro de cesio. Pero, en el caso de una sustancia compleja como la mica ($KAl_3Si_3O_{10}[OH]_2$) o la zurrita ($Al_{13}Si_5O_{20}[OH]_{18}Cl$), por otra parte, es posible sugerir muchas posibles estructuras con pequeñas diferencias en cuanto a naturaleza y estabilidad, y cabe esperar que la más estable de todas las estructuras que asuma la sustancia refleje los diferentes factores que determinan la estructura de los cristales iónicos. Se han podido formular una serie de reglas relativas a la estabilidad de los cristales iónicos complejos [...] por inducción, en parte, de estructuras conocidas en 1928, y por deducción, en parte, a partir de las ecuaciones energéticas de los cristales. Y, aunque no sean rigurosas en su derivación ni sean tampoco de aplicación universal, esas reglas se han mostrado útiles como criterio para la probable exactitud de las estructuras propuestas para cristales complejos y como ayuda en la investigación, mediante rayos X, de los cristales, posibilitando sugerir estructuras razonables para la realización de pruebas experimentales».¹¹

Como, en 1988, dijo John Maddox, editor de *Nature*: «Uno de los principales escándalos de las ciencias físicas radica en la

imposibilidad, partiendo de su composición química, de predecir la estructura de los sólidos cristalinos más simples».¹²

Pero, por más que haya avanzado la informática desde el escrito de 1960 de Pauling y del de Maddox de 1988, la mayoría de las predicciones relativas a la estructura de los cristales sigue descansando en el conocimiento de la estructura de sustancias parecidas. Aunque el empleo de varios tipos de abordaje nos permita esbozar hoy en día mejores predicciones a priori, todavía queda por resolver el inevitable problema de las estructuras de energía mínima múltiple. Una revisión publicada en el año 2004 resumía la situación del siguiente modo: «El principal problema no parece girar tanto en torno a la generación de estructuras cristalinas estables, como en torno a la selección de la más estable de entre muchas alternativas energéticamente equiprobables. Una molécula sencilla como el benceno, por ejemplo, que, en condiciones normales de presión, sólo presenta una estructura cristalina conocida, conduce, al menos, a treinta posibles estructuras cristalinas diferentes».¹³

Durante los años 1999, 2001, 2004 y 2007, el Centro de Datos Cristalográfico de Cambridge llevó a cabo una serie de talleres de predicción de estructuras cristalinas con la intención de valorar los métodos actuales de cálculo. A los equipos participantes, se les proporcionaba la fórmula molecular de diversos compuestos orgánicos simples y se les pedía que predijesen “a ciegas” su estructura cristalina, que, si bien era conocida por los organizadores, no se había visto publicada. «Fueron muchos los grupos que descubrieron la estructura experimental que, de algún modo, poseía el nivel energéticamente inferior. Así pues, aunque los métodos actuales no sean capaces de predecir a priori la(s) estructura(s) experimental(es), sí que proporcionan una variedad de estructuras como posibles polimorfos.»¹⁴

Durante el certamen de 2007 tuvo lugar un gran avance, cuando un equipo predijo adecuadamente la estructura de las cuatro moléculas consideradas. Y, para seleccionar las tres estructuras más probables de menor energía, una de las cuales era la correcta, utilizaron un proceso en dos fases. Pero hay que señalar también que las moléculas implicadas durante ese proceso eran muy pequeñas, de entre 8 y 33 átomos.¹⁵

3.4. LA ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

El abanico de posibles estructuras se amplía mucho más en el caso de moléculas más grandes como las proteínas. Aun una proteína pequeña como la insulina, por ejemplo, contiene cerca de 800 átomos y las más grandes de todas llegan a poseer centenares de miles de átomos. Las cadenas de polipéptidos se enrollan, giran y pliegan adoptando complejas formas tridimensionales (figura 9). Se ha demostrado que, en condiciones de estabilidad de un determinado tipo de molécula proteica, dicha molécula se pliega y llega a formar una estructura única.

En numerosos estudios experimentales, se ha logrado que determinadas proteínas de desplegasen progresivamente cambiando su entorno químico y, restauradas las condiciones normales, se replegasen de nuevo, asumiendo su estructura normal. A pesar, no obstante, de partir de diferentes estados iniciales y de atenerse a diferentes “vías” de plegamiento, llegan al mismo punto estructural final.¹⁶

Y, aunque sea muy probable que ese punto final estable constituya una estructura de energía mínima, ello no demuestra que se trate de la *única* estructura posible con la energía mínima, ya que son muchas las que pueden cumplir con la misma condición. Son muchas, en realidad, las soluciones ofrecidas por los cálculos encaminados a predecir la estructura

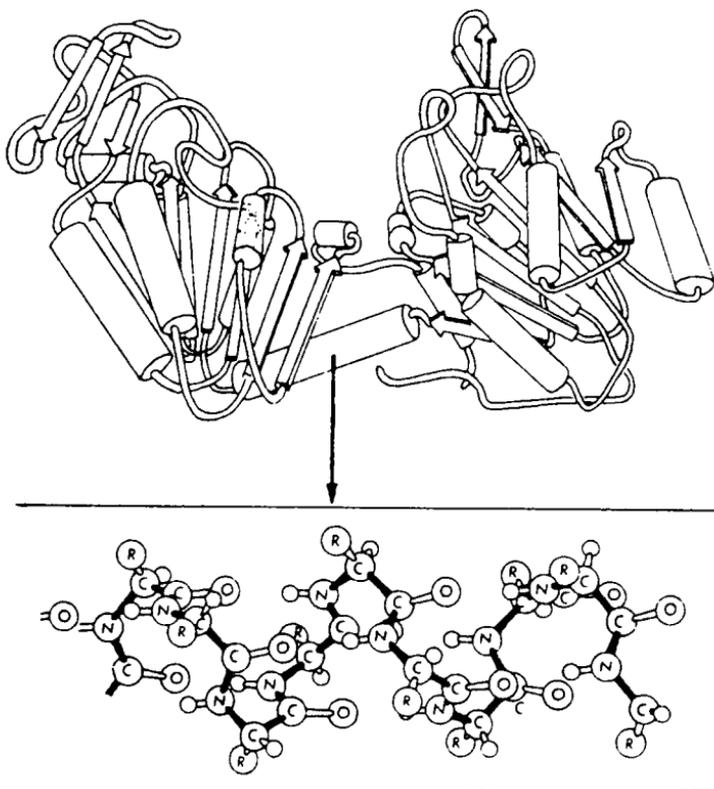


FIGURA 9. Arriba: estructura de la enzima fosfoglicerato quinasa obtenida a partir de músculo de caballo. Las hélices se representan mediante cilindros y las cadenas mediante flechas.

Abajo: estructura detallada de una región helicoidal (Banks y colaboradores, 1979).

tridimensional de las proteínas, comenzando con la secuencia lineal de aminoácidos codificados por el ADN. Esto es algo conocido, en la literatura del desarrollo de las proteínas, con el nombre de “problema mínimo múltiple”.¹⁷

En una serie continua de talleres destinados a predecir la estructura de las proteínas y organizados bajo el patrocinio del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore de California, equipos procedentes de todo el mundo tratan de predecir a ciegas, como en los Crystal Structure Workshops, la estructura tridimensional de proteínas. Estas evaluaciones se denominan “valoración crítica de técnicas para la predicción de la estructura de las proteínas”. Los resultados han puesto de relieve que las predicciones más exitosas se basan en el conocimiento detallado de proteínas parecidas, un método conocido como “modelado comparativo”. Los certámenes CASP (de Critical Assessment of Techniques for Protein Structure Prediction) solían incluir, desde el comienzo, una categoría, lo que implicaba que las predicciones partían de algún principio, pero desde CASP6, que tuvo lugar en 2004, el nombre de esa categoría ha cambiado: «Este nombre implica que, en la elaboración de los modelos, no se confía en estructuras conocidas. En la práctica, la mayoría de los métodos utilizados recurren a la información estructural disponible, diseñando funciones promedio que permitieran distinguir las predicciones correctas de las incorrectas y elegir fragmentos para incorporar al modelo. Por esa razón acabó renombrándose la categoría».¹⁸

Pero, aun apelando al conocimiento proporcionado por proteínas similares, el problema de los múltiples mínimos no desaparece. Ésa era, al menos, la situación en 2004: «Como en la predicción de la estructura de los cristales [...], resulta muy difícil elegir la estructura terciaria más estable de entre muchas otras modalidades equienergéticas».¹⁹

Existen razones muy poderosas para creer que, antes de descubrir la forma correcta, la proteína no “prueba” todos esos mínimos:

«Si la cadena explorase al azar todas las posibles configuraciones mediante rotaciones de los diferentes enlaces de la estructura, tardaríamos mucho tiempo antes de dar con la configuración adecuada. Si los residuos individuales de una determinada cadena polipeptídica, por ejemplo, sólo pudiesen desplegarse de dos modos diferentes, por ejemplo –lo que ciertamente implica una simplificación extraordinaria–, el número de posibles configuraciones aleatoriamente generadas por los residuos de una cadena de 150 aminoácidos sería de 10^{45} (aunque muchas de ellas, como es obvio, fuesen estrictamente imposibles). Si el tiempo requerido por la exploración de cada rotación molecular fuese de 10^{12} sec^{-1} , un valor, por cierto, desproporcionadamente pequeño, necesitaríamos unos 10^{26} años para examinar todas las posibles alternativas. Y, puesto que la síntesis y pliegue de una cadena proteica como la ribonucleasa o la lisozima pueden llevarse a cabo aproximadamente en un par de minutos, resulta evidente que, durante el proceso de plegamiento, no se examinan todas las configuraciones posibles. En nuestra opinión, la cadena peptídica se ve guiada, en respuesta a interacciones locales, por diferentes senderos de baja energía (de número relativamente reducido) que es muy probable que atravesasen estados intermedios únicos antes de alcanzar la configuración de menor energía libre» (C.B. Anfinsen y H.A. Scheraga²⁰).

Pero el proceso de plegamiento, además de verse “guiado” a través de determinados caminos, también puede verse canalizado hacia una determinada configuración de energía mínima, sin tener que pasar por todas ellas.

De esta discusión podemos extraer la conclusión general de que es muy posible que, aunque pueda ayudarnos a sugerir un amplio abanico de posibles estructuras de energía mínima,

las teorías actuales de la física son incapaces de explicar la estructura única de cristales y moléculas complejas. Carecemos, por el momento, de toda prueba que pueda explicarnos por qué asume, en concreto, tal o cual estructura. Por ello algún factor ajeno a la energía “selecciona” una de las alternativas y determina la estructura específica adoptada por el sistema.²¹ La hipótesis que a continuación esbozaremos se basa en la idea de que esta “selección” es llevada a cabo por un nuevo tipo de causalidad no reconocida, hasta el momento, por los físicos y que se ve afectada por los campos morfogénéticos.

3.5. LA CAUSACIÓN FORMATIVA

La hipótesis de la “causación formativa” sostiene que los campos morfogénéticos desempeñan un papel causal en el desarrollo y mantenimiento, a cualquier nivel de complejidad, de las formas de los sistemas. Y hay que decir que, en este contexto, la expresión “forma” no se limita exclusivamente a la apariencia de la superficie externa o límite de un sistema, sino que también incluye su estructura interna. Llamamos causación formativa a esta causalidad de forma a través de campos morfogénéticos para distinguirla de la modalidad de causación energética de la que se ocupa la física.²² Y es que, como los campos morfogénéticos sólo pueden llevar a cabo sus efectos en conjunción con procesos energéticos, no son, en sí mismos, energéticos.

La noción de causación formativa no energética resulta más fácil de entender con la ayuda de una analogía procedente del campo de la arquitectura. Para construir una casa necesitamos ladrillos y otros materiales, así como trabajadores que organicen adecuadamente los materiales y un plano que es-

pecifique la forma final de la casa. Los mismos trabajadores haciendo la misma cantidad total de trabajo y utilizando la misma cantidad de materiales podrían erigir, empleando un plano diferente, una casa de forma distinta. Podríamos considerar que el plano es la *causa* de la forma concreta de la casa, aunque es evidente que no es la única causa, porque no podría haberse construido sin los materiales y sin el trabajo de los obreros. De manera parecida, un campo morfogenético específico es una causa de la forma específica que adopta un sistema, aunque no puede actuar sin los “ladrillos” y la energía necesarios para ubicarlos en el lugar que les corresponde.

Esta analogía no pretende sugerir que el papel causativo de los campos morfogenéticos dependa de un diseño consciente, sino tan sólo subrayar que no toda causalidad es energética. El plano de una casa no es, en sí mismo, ningún tipo de energía, sino un tipo de información. La forma de la casa no pesa ni posee energía. Y, cuando el dibujo se quema o la casa se derriba, no se produce ningún cambio cuantificable en la cantidad total de masa y de energía y lo que desaparece no es más que la organización. Del mismo modo, según la hipótesis de la causación formativa, los campos morfogenéticos no son, en sí mismos, energéticos, aunque desempeñan, en cualquiera de los casos, un papel causal en la determinación de las formas de los sistemas a los que van asociados. Si un sistema estuviera asociado a un campo morfogenético diferente, se desarrollaría de forma distinta.²³ Esta hipótesis puede demostrarse empíricamente en aquellos casos en que podemos alterar los campos morfogenéticos que actúan sobre un sistema (véanse secciones 5.6, 7.4, 7.6, 11.2 y 11.4).

Podemos considerar los campos morfogenéticos análogos a los campos conocidos de la física en la medida en que, aunque no puedan observarse directamente, son capaces de provocar cambios físicos. Los campos gravitacionales y

electromagnéticos son estructuras espaciales invisibles, intangibles, inaudibles, inodoras e insípidas y sólo pueden detectarse a través de sus efectos gravitatorios y electromagnéticos. Para explicar el hecho de que la influencia a distancia de los sistemas físicos sin contacto aparente entre los mismos, se otorga a estos campos hipotéticos la facultad de atravesar el espacio vacío y hasta de constituirlo. En cierto sentido, pues, podemos decir que son inmateriales pero, en otro, son aspectos de la materia, porque únicamente pueden conocerse a través de sus efectos sobre ella. De hecho, hemos llegado a ampliar incluso la definición científica de materia para poder tenerlos en cuenta. Los campos morfogenéticos, de modo parecido, son estructuras espaciales exclusivamente detectables a través de sus efectos morfogenéticos sobre los sistemas materiales y, si ampliamos la definición de materia, también podríamos considerarlos como tales.

Aunque, en las secciones anteriores, sólo nos hayamos referido a la morfogénesis de sistemas biológicos y de sistemas químicos complejos, la hipótesis de la causación formativa puede aplicarse, sea cual sea su nivel de complejidad, a todos los sistemas físicos y biológicos. Y, como cada tipo de sistema posee su forma característica, debe tener igualmente una clase concreta de campo morfogenético. Así pues, debe haber una clase concreta de campo morfogenético para los protones, otra para los átomos de nitrógeno, otra para las moléculas de agua, otra para los cristales de cloruro de sodio, otra para las células musculares de las lombrices, otra para los riñones de la oveja, otra para los elefantes, otra para las hayas, etc.

Según la teoría organicista, los sistemas u "organismos" se hallan, a todos los niveles de complejidad, organizados jerárquicamente.²⁴ En esta discusión, utilizaremos el término "unidad mórfica" para referirnos a estos sistemas. El adjetivo mórfico (de la raíz griega *morphe* = forma) subraya el aspec-

to estructural y el término “unidad” subraya la unidad o integridad del sistema. En este sentido, los sistemas químicos y biológicos están formados por jerarquías de unidades mórficas: un cristal, por ejemplo, contiene moléculas que, a su vez, contienen átomos que, a su vez, contienen partículas subatómicas. Los cristales, las moléculas, los átomos y las partículas subatómicas son unidades mórficas, como también lo son los animales, las plantas, los órganos, los tejidos, las células y los orgánulos. En este sentido, podríamos representar el tipo jerárquico de organización mediante un diagrama en “árbol” o como una serie de “cajas chinas” (figura 10).

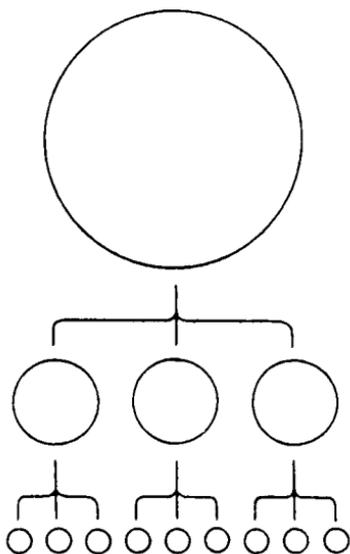


Diagrama en “árbol”
del sistema jerárquico

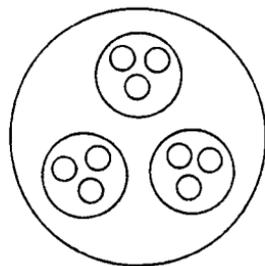


Diagrama en forma
de “caja china”
del sistema jerárquico

FIGURA 10. *Dos formas diferentes de representar un sistema jerárquico simple.*

La unidad mórfica debe coordinar de algún modo, a nivel superior, la composición de las partes o módulos que la constituyen. Se supone que esta coordinación se efectúa a través de la influencia que su campo morfogenético ejerce sobre los campos morfogenéticos de unidades mórficas infraordenadas. La organización de los campos morfogenéticos es, pues, como las mismas unidades mórficas, esencialmente jerárquica.

En el siguiente capítulo discutiremos el modo en que los campos morfogenéticos podrían actuar sobre los sistemas que quedan bajo su esfera de influencia y, en el capítulo 5, veremos de dónde vienen y el modo en que adquieren su estructura concreta.

4. CAMPOS MORFOGENÉTICOS

4.1. GÉRMENES MORFOGENÉTICOS

La morfogénesis no tiene lugar en el vacío. Sólo puede originarse en un sistema organizado que cumpla con la función de *germen morfogenético*. Es en torno a ese germen que, bajo la influencia de un determinado campo morfogenético, la morfogénesis acaba dando lugar a una nueva unidad mórfica supraordenada. Pero ¿qué vínculos son, para empezar, los que unen este campo con el germen morfogenético?

Es posible que, del mismo modo que la vinculación existente entre los sistemas materiales con los campos gravitatorios y electromagnéticos depende, respectivamente, de su masa y de su carga eléctrica, la vinculación entre los sistemas y los campos morfogenéticos dependa de su forma. Quizás sea, pues, la forma concreta de un determinado germen morfogenético la que le lleve a rodearse de un determinado campo morfogenético.

El germen morfogenético forma parte del futuro sistema. Parte del campo morfogenético del sistema corresponde, por tanto, al germen morfogenético. Sin embargo, el resto del campo todavía no está “ocupado” ni “lleno” y, si bien contiene la *forma virtual* del sistema final, sólo se actualiza cuando todas sus partes materiales ocupan el lugar que les corresponde. El campo morfogenético coincide, pues, con la forma real del sistema.

La figura 11 A representa gráficamente estos procesos. Las áreas punteadas representan la forma virtual y los trazos con-

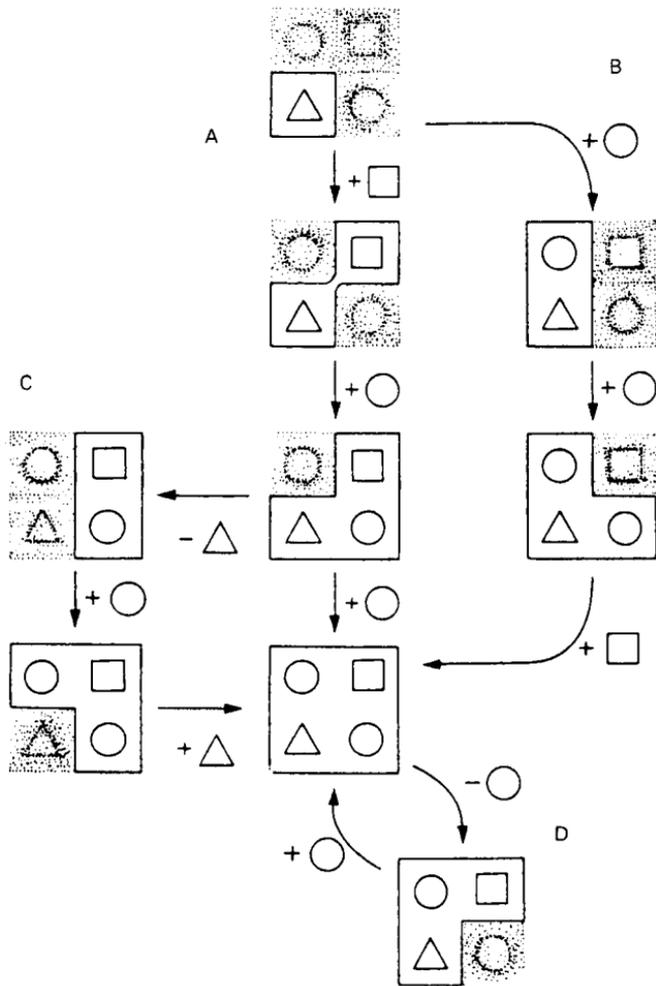


FIGURA 11. A: representación esquemática del desarrollo de un sistema a partir de un germen morfogenético (triángulo) a través de la creoda normal; B: representa una vía morfogenética alternativa; C: representa la regulación, y D: representa la regeneración. La forma virtual del campo morfogenético se indica mediante el área punteada.

tinuos indican la forma real del sistema. Podría pensarse, en este sentido, en el campo morfogenético como una estructura que rodea o impregna el germen morfogenético y contiene la forma virtual final. Este campo ordena luego los sucesos que quedan bajo su radio de acción de modo que se actualiza la forma virtual. En ausencia de las unidades que constituyen las partes del sistema final, este campo es indetectable y sólo se manifiesta a través de su efecto sobre dichas partes cuando éstas quedan bajo su esfera de influencia. Las "líneas de fuerza" que se establecen en un campo magnético en torno a un imán constituyen, en este sentido, una analogía aproximada. Esas estructuras espaciales sólo se manifiestan cuando se introducen en su proximidad partículas tales como limaduras de hierro, susceptibles de ser imantadas. Pero lo cierto es que el campo magnético existe aun en ausencia de limaduras de hierro. Del mismo modo, el campo morfogenético que se forma en torno a un germen morfogenético existe, en tanto que estructura espacial, aun cuando todavía no se haya actualizado, dotando al sistema de su forma final. Sin embargo, los campos morfogenéticos difieren radicalmente de los campos electromagnéticos en el sentido de que estos últimos dependen del estado *real* del sistema, de la distribución y del movimiento de partículas cargadas, mientras que los campos morfogenéticos dependen del estado *potencial* de un sistema en proceso de desarrollo y están presentes antes incluso de que éste adquiriera su forma final.¹

La figura 11 A muestra varios estados intermedios entre el germen morfogenético y la forma final. La forma final también podría alcanzarse, como ilustra la figura 11 B, a través de un camino morfogenético diferente. Pero, si habitualmente se sigue un determinado camino, éste podría ser considerado como un cauce para el cambio, es decir, como una creoda (véase figura 5).

Aun cuando el sistema en proceso de desarrollo se vea dañado por la eliminación de una de sus partes, todavía será capaz de alcanzar la forma final (figura 11 C). De ello se ocupa, precisamente, el proceso de regulación.

Una vez que la forma final se ha actualizado, la continua asociación entre el campo morfogenético y el sistema a cuya forma corresponde tiende a estabilizar a éste. Cualquier desviación que aleje al sistema de esta forma tiende a verse corregida, debido a la atracción que, hacia ella, experimenta el sistema. Y si se elimina una parte del sistema, la forma final tiende a actualizarse de nuevo (figura 11 D). De ello, precisamente, se ocupa la regeneración.

El tipo de morfogénesis que presentamos en la figura 11 es básicamente *agregativa*, en el sentido de que, en ella, unidades anteriormente separadas acaban uniéndose y dando lugar a una unidad mórfica de nivel superior. Existe otro tipo de morfogénesis que tiene lugar cuando la unidad mórfica que sirve de germen morfogenético forma parte de una unidad mórfica supraordenada. En tal caso, la influencia del nuevo campo morfogenético conduce a una *transformación* en la que la forma de la unidad de orden superior original acaba viéndose reemplazada por la forma de la nueva unidad supraordenada. Y conviene señalar, en este punto, que la mayor parte de las morfogénesis químicas son de tipo agregativo, mientras que las morfogénesis biológicas, por su parte, suelen estar compuestas por una combinación de procesos agregativos y transformadores. En las siguientes secciones veremos algunos ejemplos en este sentido.

4.2. MORFOGÉNESIS QUÍMICA

Las morfogénesis agregativas tienen lugar en los sistemas inorgánicos en la medida en que disminuye la temperatura. Al enfriarse el plasma, las partículas subatómicas se unen formando átomos, a temperaturas inferiores los átomos se unen formando moléculas, las moléculas se condensan formando líquidos y los líquidos, finalmente, acaban cristalizando.

En el estado plasmático, los núcleos atómicos pueden ser considerados como los gérmenes morfogenéticos de los átomos. Están ligados a los campos morfogenéticos atómicos que contienen las órbitas virtuales de los electrones. En cierto sentido, esos orbitales no existen, pero, en otro sentido, poseen una realidad que se manifiesta en el plasma en proceso de enfriamiento a medida que se actualizan capturando electrones.

Los electrones capturados en los orbitales atómicos pueden verse desplazados nuevamente de los mismos debido a la influencia de una energía exterior o saltando a un orbital virtual de menor energía potencial, en cuyo caso, pierden un cuanto discreto de energía que acaba emitiéndose en forma de fotón. En los átomos con muchos electrones, cada orbital sólo puede contener un par de electrones (de espín opuesto). Por consiguiente, en un plasma en proceso de enfriamiento los electrones ocupan primero los orbitales virtuales de menor energía potencial, luego los orbitales de energía potencial superior, etc., a lo largo de un proceso hasta que la forma atómica completa se ve actualizada en torno al germen morfogenético del núcleo.

Los átomos, a su vez, son los gérmenes morfogenéticos de las moléculas y las moléculas pequeñas son los gérmenes de moléculas mayores. Las reacciones químicas implican la agregación de átomos y moléculas para formar moléculas mayores, como sucede, por ejemplo, durante la formación de

polímeros o la fragmentación de moléculas en moléculas más pequeñas o en átomos e iones, que pueden agregarse a otros, como sucede en el caso de la combustión. Bajo el efecto de la energía externa, las moléculas se dividen en átomos e iones que, combinándose con las del oxígeno, forman moléculas pequeñas y sencillas como el H_2O y el CO_2 . Estos cambios químicos comportan la actualización de formas virtuales asociadas a los átomos o moléculas que actúan a modo de gérmenes morfogenéticos.

La idea de que antes de actualizarse las moléculas poseen formas virtuales se ve claramente ilustrada por la posibilidad de "diseñar" sustancias nuevas en función de los principios empíricamente establecidos de la combinación química que luego se ven sintetizadas en los laboratorios de química orgánica. Estas síntesis de laboratorio se realizan paso a paso y, en cada uno de esos pasos, una determinada forma molecular sirve como germen morfogenético para la síntesis de la siguiente forma virtual que concluye en la forma de una molécula nueva.

Y, a quienes consideren artificial el hecho de pensar en las reacciones químicas como procesos morfogenéticos, les recordaría que gran parte del efecto de los catalizadores, tanto inorgánicos como orgánicos, depende de su morfología. Las enzimas, por ejemplo, es decir, los catalizadores específicos de numerosas reacciones bioquímicas, presentan superficies, estrías, muescas o depresiones en las que encajan las moléculas que intervienen en la reacción con un grado de especificidad que, en muchos casos, se ha comparado a la existente entre una llave y una cerradura. El efecto catalítico de las enzimas depende, en gran medida, del modo en que permite que las moléculas en juego puedan mantenerse en la posición relativa adecuada para propiciar la reacción. Tengamos en cuenta que, en el caso de una solución libre, las colisiones

azarosas de las moléculas ocurren en todas las orientaciones posibles y que la mayoría de ellas son inapropiadas.

Los detalles de la morfogénesis química son vagos debido, por un lado, a su gran rapidez, por otro, a que las formas intermedias pueden ser altamente inestables y, por último, a que los cambios básicos giran en torno a saltos cuánticos probabilístico de electrones entre los orbitales que intervienen en los enlaces químicos. La forma virtual de la futura molécula depende del campo morfogenético asociado al germen atómico molecular y, cuando el otro átomo o molécula se aproxima en la orientación adecuada, la forma de la molécula producida se actualiza mediante saltos cuánticos de electrones a orbitales que antes sólo existían de un modo virtual liberando, al mismo tiempo, energía, habitualmente en forma de movimiento térmico. El papel que, en este proceso, desempeña el campo morfogenético es energéticamente pasivo, aunque morfológicamente activo; crea estructuras virtuales que se actualizan como unidades mórficas infraordenadas que “encajan” o se “insertan” en esas estructuras y liberando, en el proceso, energía.

Son muchos los tipos de reacción química en que pueden participar los átomos y las moléculas, razón por la cual constituyen el germen potencial de muchos campos morfogenéticos diferentes. Podríamos concebir esos campos como posibilidades que “rondan” en torno al germen. Pero es muy posible que éste no desempeñe su función como germen de un determinado campo morfogenético hasta que, debido a efectos electromagnéticos o de otro tipo, se le acerque la molécula o el átomo reactivo adecuado.

La morfogénesis de los cristales difiere de la de los átomos y moléculas en el sentido de que una determinada pauta de organización atómica o molecular se repite indefinidamente. Y esta pauta depende del mismo germen morfogenético.

Se sabe que la adición de "semillas" o "núcleos" del tipo apropiado de cristal acelera extraordinariamente la cristalización de líquidos sobreenfriados o de soluciones sobresaturadas. En ausencia de estas semillas o núcleos, los gérmenes morfogenéticos del cristal sólo se forman cuando los átomos o moléculas adoptan casualmente, debido a la agitación térmica, las posiciones relativas adecuadas. Cuando el germen está presente, las formas virtuales de las repeticiones de la estructura entramada determinada por el campo morfogenético se extienden más allá de la superficie del cristal en proceso de crecimiento. De este modo, las moléculas o átomos libres adecuados que se acercan a esas superficies se ven capturados y "encajados" en la posición que les corresponde liberando también, a lo largo de este proceso, energía térmica.

La siembra o nucleación de líquidos superenfriados o de soluciones sobresaturadas también puede llevarse a cabo, aunque de forma menos eficaz, con pequeños fragmentos de sustancias con las que no están emparentadas. Los químicos, por ejemplo, suelen rascar las paredes de los tubos de ensayos para "sembrar" la solución con fragmentos de cristal. Estos fragmentos proporcionan superficies que facilitan a los átomos y moléculas que constituyen el auténtico germen morfogenético del cristal acabar adoptando la posición relativa adecuada. Y estas semillas o núcleos se asemejan, en su efecto morfogenético, a los catalizadores de las reacciones químicas.

La naturaleza de los tipos de morfogénesis química que hemos considerado hasta el momento es esencialmente agregativa. Las transformaciones son, en el caso de los sistemas inanimados, muy raras. Pero, en ciertas ocasiones, los cristales experimentan transformaciones que les llevan a asumir otras formas cristalinas, como sucede cuando cristales de carbono en forma de grafito se transforman, debido a tempe-

raturas y presiones muy elevadas, en diamante. También las moléculas pueden experimentar transformaciones, como sucede, por ejemplo, durante el despliegue de las proteínas y los cambios reversibles de forma que se producen cuando determinadas enzimas se unen a las moléculas cuya reacción catalizan.²

El hecho de que las proteínas se plieguen de un modo mucho más rápido de lo que cabría esperar si “encontrasen” su forma final mediante una “búsqueda aleatoria” indica que su despliegue sigue un determinado camino, una serie de pautas limitadas (sección 3.3), “vías canalizadas de cambio” que podríamos considerar creodas. Como ya hemos señalado en la sección 4.1, para que el proceso comience, hay que contar con la presencia de un germen morfofenético que presente la estructura tridimensional característica de la forma final de la proteína. No es ésta la primera ocasión en que se subraya la presencia de tales puntos de partida morfofenéticos, un fenómeno mencionado ya en la literatura relativa al desarrollo de las proteínas:

«La extrema rapidez con que tiene lugar el proceso de plegamiento indica que éste discurre a través de un número limitado de vías [...]. Y debemos postular la existencia de un número también limitado de posibles desencadenantes del proceso de despliegue. Es muy probable que estos eventos, a los que habitualmente nos referimos con el nombre de “nucleaciones”, ocurran en aquellas partes de la cadena polipeptídica ligadas al equilibrio de forma entre configuraciones aleatorias y configuraciones cooperativamente estabilizadas... Además, es importante recalcar que las secuencias de aminoácidos de las cadenas polipeptídicas destinadas a convertirse en la fábrica de las moléculas de proteínas sólo tienen sentido funcional cuando adoptan la disposición tri-

dimensional que las caracteriza en la molécula proteica original. Parece razonable sugerir que las partes de una cadena proteica que puedan servir como puntos de nucleación para el despliegue serán aquellas que “fluctúen” en torno a la configuración que ocuparán en la proteína final y que formarán una estructura relativamente rígida estabilizada por un conjunto de interacciones cooperativas» (C.B. Anfinsen.³)

Tales “puntos de nucleación” actúan como gérmenes morfogénéticos a través de su asociación con el campo morfogénético de la proteína, que canaliza el camino de despliegue que acaba conduciendo a la forma final característica.

4.3. LOS CAMPOS MORFOGENÉTICOS COMO “ESTRUCTURAS DE PROBABILIDAD”

Los orbitales de electrones que giran en torno a un núcleo atómico, que pueden describirse mediante la ecuación de Schrödinger, pueden considerarse estructuras que forman parte del campo morfogénético del átomo. Según la mecánica cuántica, sin embargo, es imposible especificar con precisión la órbita exacta de un determinado electrón y lo único que podemos hacer es determinar la probabilidad de encontrar electrones en determinadas regiones. En este sentido, los orbitales son considerados como distribuciones espaciales de la probabilidad. Desde la perspectiva proporcionada por la hipótesis de la causación formativa, este resultado sugiere que, del mismo modo que las estructuras del campo morfogénético de los átomos pueden ser considerados como distribuciones espaciales de la probabilidad, los campos morfogénéticos no se hallan estrictamente definidos, sino que se atienen a distribuciones de probabilidad.⁴ Supongamos que éste sea el

caso y que las estructuras de los campos morfogenéticos sean *estructuras de probabilidad*.⁵ En la sección 5.4 sugerimos una explicación de la naturaleza probabilística de estos campos.

La acción del campo morfogenético de una unidad mór-
fica sobre los campos morfogenéticos de sus elementos com-
positivos que, como señalábamos en la sección 3.4, son uni-
dades mórnicas infraordenadas, puede entenderse en términos
de la influencia de una estructura supraordenada sobre las
estructuras de orden inferior o, dicho en otras palabras, del
modo en que el campo de nivel superior modifica las estruc-
turas de probabilidad de los campos de nivel inferior. Conse-
cuentemente, durante la morfogénesis, el campo supraorde-
nado modifica la probabilidad de ocurrencia de los eventos
probabilísticos que tienen lugar en las unidades mórnicas in-
fraordenadas que se hallan bajo su esfera de influencia.⁶

En el caso de los átomos libres, los eventos electrónicos
se atienen a las probabilidades establecidas por las estructu-
ras de probabilidad de los campos morfogenéticos atómicos.
Pero, cuando los átomos caen bajo la esfera de influencia del
campo morfogenético supraordenado de una molécula, esas
probabilidades se ven modificadas de modo tal que aumenta
la probabilidad de ocurrencia de los eventos que conducen
a la actualización de la forma final, al tiempo que disminuye
la probabilidad de ocurrencia de todos los demás. Así pues,
los campos morfogenéticos de las moléculas limitan el nú-
mero de configuraciones atómicas que cabría esperar de los
cálculos que parten de las estructuras de probabilidad de
los átomos libres. Y esto es precisamente lo que ocurre por-
que, en el caso del desarrollo de las proteínas, por ejemplo, la
rapidez del proceso indica que el sistema no explora las in-
numerables configuraciones que los átomos podrían asumir
(sección 3.4).

Los campos morfogenéticos de los cristales también restringen, de manera parecida, el número de posibles configuraciones establecidas por las estructuras de probabilidad de sus moléculas constituyentes. Por ello, cuando una sustancia cristaliza, suele atenerse, de entre todas las estructuras posibles, a una determinada pauta de configuración molecular.

Así pues, los campos morfogenéticos de los cristales y de las moléculas son estructuras de probabilidad en el mismo sentido en que lo son los orbitales electrónicos en los campos morfogenéticos de los átomos. Esta conclusión coincide con la creencia convencional de que no existe diferencia tipológica alguna entre la descripción realizada por la mecánica cuántica de los sistemas atómicos simples y una posible descripción mecánico-cuántica de formas más complejas. A diferencia, sin embargo, de lo que sostiene la hipótesis de la causación formativa, la teoría convencional aspira a explicar los sistemas complejos de abajo arriba, por así decirlo, en términos de las propiedades mecánico-cuánticas de los átomos.

La diferencia entre ambos métodos puede apreciarse más claramente cuando la contemplamos en un determinado contexto histórico. La teoría cuántica se vio elaborada partiendo de las propiedades de sistemas sencillos como, por ejemplo, el átomo de hidrógeno. Con el paso del tiempo, sin embargo, se introdujeron nuevos principios fundamentales con la intención de explicar observaciones empíricas, tales como la estructura fina del espectro luminoso emitido por los átomos. Los números cuánticos originales que caracterizaban los orbitales electrónicos discretos se vieron suplementados por otro conjunto referido al momento angular y que posteriormente se vio conocido con el nombre de "espín". Este último es considerado como una propiedad irreductible de las partículas, como la carga eléctrica, y tiene su propia ley de conserva-

ción. En la física de las partículas nucleares han acabado introduciéndose, de modo más o menos ad hoc, con la intención de explicar observaciones que quedaban fuera del marco de referencia de los factores cuánticos aceptados, factores todavía más irreductibles, como los llamados “extrañeza” y “encanto”, así como nuevas leyes de conservación. El descubrimiento, por otra parte, de un gran número de partículas subatómicas ha llevado a postular la existencia de un mayor número de nuevos tipos de campos de materia.

Cuando se han introducido tantos principios físicos y campos físicos nuevos para explicar las propiedades de los átomos y de las partículas subatómicas, la suposición convencional de que, más allá del nivel de organización del átomo, no interviene ningún principio o campo físico parece bastante arbitraria. Ese supuesto, de hecho, es poco más que una reliquia del atomismo decimonónico, cuya justificación teórica original desaparece en el mismo momento en que sabemos que los átomos no son partículas últimas e indivisibles. Desde el punto de vista de la hipótesis de la causación formativa, aunque el cuerpo actual de la teoría cuántica, desarrollada en conexión con las propiedades de los átomos y de las partículas subatómicas, arroja mucha luz sobre la naturaleza de los campos morfogenéticos, no puede extrapolarse para describir los campos morfogenéticos de los sistemas más complejos. No hay razón alguna para suponer que los campos morfogenéticos de los átomos gocen, en el orden de la naturaleza, de una situación privilegiada. De hecho, no son más que los campos de las unidades mórficas propios de un determinado nivel de complejidad.

4.4. LOS PROCESOS PROBABILÍSTICOS EN LA MORFOGÉNESIS BIOLÓGICA

Son muchos los casos de procesos físicos cuyos resultados espaciales son de orden probabilístico. Hablando en términos generales, los cambios que implican la ruptura de la simetría o de la homogeneidad son indeterminados. Muchos ejemplos de este tipo tienen lugar en las transiciones de fase entre el estado gaseoso y el estado líquido y entre el estado líquido y el estado sólido. Si, por ejemplo, enfriamos un globo esférico lleno de vapor por debajo del punto de saturación en ausencia de gradientes externos de temperatura y gravedad, el líquido empezará a condensarse en las paredes, pero su distribución final será impredecible y casi nunca esféricamente simétrica.⁷ Es posible prever termodinámicamente la cantidad relativa de líquido y vapor, pero no su distribución espacial. Y tampoco es posible, en la cristalización de una sustancia en condiciones uniformes, predecir la distribución espacial y el número y tamaño de los cristales. Si repetimos, dicho en otras palabras, el mismo proceso en idénticas condiciones, cada vez obtendremos una distribución espacial diferente.

Y, aunque las formas mismas de los cristales presenten una clara simetría, pueden ser completamente indeterminadas, como evidencian las innumerables formas que pueden asumir los copos de nieve.⁸

En las "estructuras disipativas" de los sistemas macroscópicos físicos y químicos que se encuentran lejos del equilibrio termodinámico, las fluctuaciones azarosas pueden dar lugar a pautas espaciales, como, por ejemplo, simples células de convección en un líquido caliente o las bandas coloreadas en las soluciones en las que tiene lugar la reacción de Zhabotinski. La descripción matemática de tales casos de "orden a través de las fluctuaciones" por los métodos de la ter-

modinámica del no equilibrio presenta sorprendentes analogías con las transiciones de fase.⁹

Estos ejemplos de indeterminismo espacial se derivan de procesos físicos y químicos muy sencillos. Los sistemas físico-químicos de las células vivas son mucho más complejos que los que podemos encontrar en el reino inorgánico e incluyen muchas transiciones de fase y procesos termodinámicos de no equilibrio potencialmente indeterminados. En el protoplasma hay fases cristalinas, líquidas y lipídicas en interrelación dinámica; también hay una gran variedad de macromoléculas que pueden unirse y formar agregados cristalinos o cuasicristalinos; membranas lipídicas que, a modo de "cristales líquidos" fluctúan en la frontera entre los estados líquido y sólido, como los soles y los geles coloidales; diferencias de potencial eléctrico entre las membranas que fluctúan de un modo imprevisible y "compartimentos" que contienen diferentes concentraciones de iones inorgánicos y de otras sustancias separados por membranas, a través de las cuales estas sustancias se mueven de un modo probabilístico.¹⁰ Con tal complejidad, el número de pautas de cambio energéticamente posibles debe ser enorme y existe, por tanto, mucho espacio para la acción de los campos morfogénéticos a través de la imposición de pautas sobre estos procesos probabilísticos.

Con ello no queremos decir que *todas* las formas de los organismos vivos estén determinadas por el fenómeno de la causación formativa. Hay pautas que pueden derivarse de procesos estrictamente azarosos.¹¹ Otras pueden explicarse en términos de configuraciones de mínima energía, como ilustra, por ejemplo, la forma esférica de los óvulos que flotan libremente (como los del erizo de mar), que pueden explicarse en función de la tensión superficial de la membrana celular. Sin embargo, el éxito limitado de las simples explicaciones físicas de las formas biológicas¹² sugiere que los campos mor-

fogenéticos determinan la gran *mayoría* de los aspectos de la morfogénesis biológica. Cabe señalar de nuevo que estos campos no actúan solos, sino junto a las causas energéticas y químicas estudiadas por los biofísicos y los bioquímicos.

La posición de los microtúbulos, unas estructuras pequeñas y parecidas a varillas formadas por agregación espontánea de subunidades proteicas, constituye un buen ejemplo del modo en que los campos morfogenéticos podrían operar en el interior de las células. Los microtúbulos desempeñan un papel importante como “andamios” microscópicos en células animales y vegetales: guían y orientan procesos como la división celular (las fibras huso de la mitosis y la meiosis están formadas por microtúbulos) y en la deposición pautada de la pared celular durante la diferenciación de las células de la planta y también sirven como “esqueleto” intracelular, contribuyendo al mantenimiento de formas celulares concretas, como sucede, por ejemplo, en el caso de los radiolarios.¹³ ¿Qué es, si la distribución espacial de los microtúbulos es responsable de la formación pautada de distintos tipos de procesos y estructuras del interior celular, lo que controla la distribución espacial de los microtúbulos? Si existe otra pauta de organización,¹⁴ el problema se retrotrae un estadio: ¿qué es lo que controla esas pautas de organización? Pero no podemos retrotraer indefinidamente el problema, porque el desarrollo es epigenético, es decir, implica un aumento de la diversidad espacial y de la organización que no pueden explicarse en función de pautas ni estructuras anteriores. Más pronto o más tarde debe haber algo que explique la aparición de la pauta de agregación seguida por los microtúbulos.

Esta pauta, según la presente hipótesis, se debe a la acción de campos morfogenéticos específicos. Estos campos provocan un aumento de la probabilidad de agregación de los microtúbulos en configuraciones apropiadas, ya sea de un modo

directo o indirecto, a través del establecimiento de una pauta de organización anterior. Naturalmente, la elaboración de las pautas de los campos depende de la presencia de una solución supersaturada de subunidades de los microtúbulos en el interior de la célula y de que se den las condiciones físico-químicas apropiadas para su agregación. Pero, aunque éstas sean las condiciones necesarias para la formación de los microtúbulos, no son, por sí solas, suficientes para explicar la pauta que rige la aparición de los microtúbulos.

Podría objetarse que la acción sugerida de causación formativa en los procesos de pautado probabilístico en el interior de las células es imposible, porque acabaría conduciendo a una violación local de la segunda ley de la termodinámica. Pero lo cierto es que esta objeción no es válida, porque la segunda ley de la termodinámica no se refiere a procesos a escala microscópica, sino tan sólo a grupos muy numerosos de partículas. Además, sólo es aplicable a sistemas cerrados, y una región de una célula no es un sistema cerrado, como tampoco lo es, por cierto, un organismo vivo.

En los organismos vivos, como el reino de la química, los campos morfogénéticos están organizados jerárquicamente. Los de los orgánulos (como, por ejemplo, el núcleo celular, las mitocondrias y los cloroplastos) actúan ordenando los procesos físico-químicos que tienen lugar en su interior; estos campos se hallan sometidos a los campos celulares supraordenados; los campos de las células se encuentran sujetos a los campos de los tejidos; los de los tejidos, a los de los órganos, y los de los órganos, al campo morfogénético del organismo como totalidad. En cada uno de los niveles, pues, los campos operan ordenando procesos que, de otro modo, serían indeterminados. A nivel celular, por ejemplo, los campos morfogénéticos ordenan la cristalización de microtúbulos y otros procesos necesarios para la coordinación de la división celu-

lar. En ausencia, sin embargo, de un nivel supraordenado, los planos en los que las células se dividen pueden ser indeterminados como ilustran, por ejemplo, las células que proliferan de manera más o menos azarosa en torno a los callos-heridas de las plantas, produciendo una masa caótica.¹⁵

En el interior de un tejido organizado, por otra parte, una de las funciones del campo morfogenético tisular podría ser el de imponer una pauta sobre los planos de división celular y controlar así el crecimiento de la totalidad del tejido. El mismo desarrollo, pues, de los tejidos podría estar, en muchos sentidos, esencialmente indeterminado, como se pone de relieve cuando se aíslan y cultivan artificialmente.¹⁶ En condiciones normales, esta indeterminación se ve restringida por el campo supraordenado del órgano. En realidad, las unidades mórficas aisladas de cada uno de los niveles de los sistemas biológicos, como también de los sistemas químicos, se comportan de un modo más indeterminado de lo que lo hacen cuando forman parte de una unidad básica supraordenada. En este sentido, el campo morfogenético supraordenado limita y pauta su indeterminismo intrínseco.

4.5. GÉRMENES MORFOGENÉTICOS EN SISTEMAS BIOLÓGICOS

A nivel celular, los gérmenes de las transformaciones morfogenéticas deben ser unidades mórficas infraordenadas que se hallan en el interior de las células. Pueden ser orgánulos, agregados macromoleculares, estructuras citoplasmáticas o membranosas o núcleos celulares. En muchos casos, los núcleos podrían desempeñar perfectamente esta función. Pero puesto que, en el mismo organismo, pueden producirse tantos tipos diferentes de células, si los núcleos actuasen a

modo de gérmenes morfogénéticos, deberían ser capaces de adoptar diferentes pautas de organización en los distintos tipos de células: la diferenciación de una célula debe verse precedida de una diferenciación de su núcleo, a causa de los cambios que se producen en su membrana, en la disposición de sus cromosomas, en las asociaciones entre proteínas y ácidos nucleicos que tienen lugar en el interior de los cromosomas, en los nucleolos y en otros componentes. Dichos cambios podrían tener lugar directa o indirectamente a través de la acción del campo morfogénético supraordenado del tejido que se halla en proceso de diferenciación. Existen, de hecho, numerosas pruebas que demuestran que son muchos los cambios nucleares que preceden a varios tipos de diferenciación celular. La sugerencia esbozada aquí difiere de la interpretación habitual de estos cambios al considerar que su significado no es estrictamente químico y dependiente de la producción de tipos especiales de ARN mensajero, sino también morfogénico: los núcleos modificados podrían servir como gérmenes a los que podrían asociarse los campos morfogénéticos específicos de las células diferenciadas.¹⁷

Existe, al menos, un proceso de morfogénesis celular en el que el núcleo no puede ser el germen morfogénico: la división nuclear. Pierde su identidad como estructura separada cuando la membrana nuclear se rompe y desaparece.¹⁸ Los cromosomas dobles y altamente enrollados se alinean en la región ecuatorial del huso mitótico, momento en el cual sendas dotaciones completas emigran hacia los respectivos polos del huso. Luego se desarrollan, en torno a cada conjunto de cromosomas, nuevas membranas, para acabar formando el núcleo de la célula hija. Los gérmenes morfogénéticos de estos procesos pueden ser estructuras u orgánulos extranucleares y las hay de dos tipos.

En el caso de los animales, los centriolos, orgánulos de forma de barril cuyas paredes están compuestas de microtúbulos, pueden ser probables candidatos para esta función, porque están ubicados cerca de los polos del huso de las células divididas, pero las plantas superiores carecen de centriolos. En ambos casos, los "centros que organizan los microtúbulos" pueden ser responsables del desarrollo de los polos del huso; los centriolos pueden ser meros "pasajeros" que se ocupan de igual participación en células hijas por asociación con estos centros.¹⁹ Los centriolos sirven como centros organizadores o gérmenes morfogenéticos para el desarrollo de los cilios y los flagelos.

El desarrollo de los tejidos y de los órganos suele implicar cambios agregativos y transformadores. En la morfogénesis, los gérmenes morfogenéticos pueden ser grupos de células que se hallen presentes al comienzo del proceso morfogenético y no pueden ser las células especializadas, que sólo aparecen una vez iniciado el proceso. Parece razonable suponer que los gérmenes morfogenéticos son células relativamente poco especializadas que experimentan pocos cambios. En plantas superiores, dichas células se encuentran, por ejemplo, en el meristemo apical del brote o yema de crecimiento.²⁰ En los brotes, el estímulo de floración transforma los meristemas de modo que dan lugar a flores en lugar de hojas. Quizás las zonas apicales, adecuadamente modificadas por el estímulo de floración, sean los gérmenes morfogenéticos de esta transformación. Y son muchos, en el caso de los embriones animales, los "centros de organización" que desempeñan un papel clave en el desarrollo de los tejidos y de los órganos identificados por los embriólogos, como, por ejemplo, la cresta ectodérmica apical que se forma en las yemas de las ramas que se hallan en proceso de desarrollo.²¹ Estos "centros de organización" pueden ser los gérmenes a los que se hallan asociados los principales campos morfogenéticos.

Pero por más que tanto en el reino químico como en el biológico podamos sugerir —e incluso identificar— la presencia de campos morfogenéticos, todavía son muchas las cosas que nos quedan por aclarar, especialmente las razones que explican la forma concreta de cada campo morfogenético y el modo en que se asocia con su germen. La consideración, en el siguiente capítulo, de este tipo de problemas nos conduce a una hipótesis más completa de la causación formativa que, aunque sorprendente y poco familiar, tal vez resulte más sencilla de entender.

5. LA INFLUENCIA DE LAS FORMAS ANTERIORES

5.1. LA CONSTANCIA Y LA REPETICIÓN DE LAS FORMAS

Cada vez que se forma un átomo, los electrones ocupan, en torno al núcleo, los mismos orbitales; los átomos se combinan repetidamente dando lugar a las mismas formas moleculares; las moléculas cristalizan una y otra vez ateniéndose a las mismas pautas; las semillas de una determinada especie dan lugar, año tras año, a plantas que presentan el mismo aspecto y, generación tras generación, las arañas tejen el mismo tipo de telaraña. Las formas se originan repitiendo, una y otra vez, el mismo tipo de pauta. Y es precisamente este hecho el que nos permite reconocer, identificar y nombrar las cosas.

Esta constancia y repetición no supondría problema alguno si las formas se hallasen exclusivamente determinadas por principios o leyes físicas inmutables. Ésta es una creencia implícita en la teoría convencional de la causación de la forma, que considera esos principios físicos fundamentales temporalmente anteriores a la forma real de las cosas. Desde esa perspectiva, podríamos calcular teóricamente el modo en que cristaliza una sustancia química recién sintetizada antes de que sus cristales apareciesen por vez primera y, del mismo modo, podríamos subrayar de forma anticipada los efectos que, sobre la forma, tendría una determinada mutación en el

ADN de un animal o de una planta. En la práctica, sin embargo, estos cálculos jamás se han llevado a cabo y esta creencia jamás se ha visto –y probablemente jamás se vea– corroborada.

Según, por el contrario, la hipótesis de la causación formativa, las leyes conocidas de la física no sólo determinan la forma de los sistemas químicos y biológicos complejos. Estas leyes nos proporcionan un abanico de posibilidades entre las que podemos elegir las causas formativas. La repetida asociación del mismo tipo de campo morfogenético con un determinado tipo de sistema físico-químico explica la constancia y repetición de las formas. Pero ¿qué es lo que determina la forma concreta del campo morfogenético?

Podríamos responder, en este sentido, que los campos morfogenéticos son eternos, que son simplemente dados y que no pueden explicarse en función de ninguna otra cosa. Desde esa perspectiva los campos morfogenéticos de todos los productos químicos, cristales, animales y plantas que han existido, existen o existirán en la Tierra ya se hallaban, de algún modo, presentes, en algún estado latente, aun antes de la aparición de este planeta.

Esa perspectiva es esencialmente platónica e incluso aristotélica, en la medida en que Aristóteles creía en la existencia eterna de las formas concretas. Difiere de la teoría física convencional en el hecho de que estas formas no podrían predecirse en términos de causación energética; pero coincide con ella en dar por sentado que, detrás de todo fenómeno empírico, hay principios preordenados.

Pero hay otra posible respuesta de orden radicalmente diferente. Las formas químicas y físicas no se repiten porque estén determinadas por leyes inmutables o formas eternas, sino debido a la *influencia causal de formas similares anteriores*. Esta influencia, a diferencia de cualquier otro tipo de

acción física conocida, actuaría a través del espacio y *del tiempo*.

Desde esta perspectiva, la forma singular asumida por un determinado sistema no se hallaría, antes de su primera aparición, físicamente determinada. Sin embargo, se repetiría porque la forma del primer sistema determinaría la forma adoptada por sistemas posteriores similares. Imaginemos que, de entre diversas formas posibles como, por ejemplo, P, Q, R, S..., todas ellas energéticamente equiprobables, un determinado sistema empieza adoptando la forma R. En ocasiones posteriores, cualquier sistema similar adoptará también la forma R, debido a una influencia transespacial y transtemporal ejercida por el primer sistema.

¿Qué es, en este caso, lo que determina la primera forma adoptada? Ésta es una pregunta para que no podemos dar ninguna respuesta científica: la cuestión tiene que ver con sucesos únicos y energéticamente indeterminados que, según esta hipótesis, una vez que han sucedido, no pueden repetirse porque son los que influyen sobre los sucesos posteriores similares. La ciencia sólo puede ocuparse de regularidades, es decir, de fenómenos que se repiten. La elección inicial de una determinada forma puede atribuirse al azar, a la creatividad inherente a la materia o a una instancia creativa trascendente. Pero no hay, en este sentido, experimento alguno que pueda ayudarnos a discernir entre todas esas diferentes posibilidades. Cualquier decisión que, al respecto, tomemos, se deberá exclusivamente a cuestiones metafísicas. En el último capítulo volveremos sobre este punto, pero, por el momento, no importa la alternativa por la que nos decantemos. La hipótesis de la causación formativa sólo tiene que ver con la *repetición* de formas y no con las razones que explican su aparición.

Esta nueva forma de pensar resulta poco familiar y nos adentra en un territorio desconocido. Pero parece que la úni-

ca posibilidad de lograr una visión científica de la forma y de la organización, hablando en términos generales, y de los organismos vivos, en particular, consiste en explorar dicho territorio. La otra alternativa consistiría en volver al punto de partida y optar de nuevo entre la fe en una futura explicación mecanicista y un organicismo metafísico o platónico.

En la siguiente discusión, proponemos que esta hipotética influencia transespacial y transtemporal pasa por la existencia de los campos morfogenéticos y es un rasgo esencial de la causación formativa.

5.2. LA POSIBILIDAD GENERAL DE LAS CONEXIONES CAUSALES TRANSTEMPORALES

Aunque la hipótesis de la causación formativa propone un nuevo tipo de conexión causal transtemporal o diacrónica desconocida, hasta el momento, por la ciencia, algunos filósofos ya han considerado, en términos generales, la posibilidad de una “acción a distancia” en el tiempo. Y no parece que, a priori, exista razón alguna para excluir esa posibilidad. Como dijo John L. Mackie:

«Nos contentamos con relaciones contiguas causa-efecto y consideramos incomprensible la “acción a distancia” a través del espacio y el tiempo, pero, no obstante, no la descartamos. Nuestra visión ordinaria de la causalidad no requiere de ningún tipo de contigüidad; no forma parte de nuestra idea de causalidad, ya que afirmar que “C ha dado lugar a E a través del tiempo, del espacio, o del tiempo y el espacio, sin conexión ni mediación alguna” sería incurrir en una contradicción».¹

También hay que decir que no hay nada, desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, que nos impida considerar nuevos tipos de conexión causal:

«Hablando en términos generales, la teoría científica no presupone ninguna modalidad concreta de conexión causal entre los eventos, sino tan sólo la posibilidad de encontrar leyes e hipótesis, expresadas en términos de algún modelo, que satisfacen los criterios de inteligibilidad, confirmación y falsabilidad. Es el modelo el que pone de relieve, en cada caso, el tipo de conexión causal, que cambia en función de los cambios fundamentales que experimente» (Mary Hesse).²

Pero, aunque el nuevo tipo de conexión causal propuesto por la hipótesis de la causación formativa parezca inicialmente posible, sólo podemos valorar su verosimilitud después de haber corroborado empíricamente las predicciones que nos permita esbozar.

5.3. LA RESONANCIA MÓRFICA

Resulta difícil expresar, apelando a conceptos conocidos, la idea de proceso mediante el cual las formas anteriormente asumidas por un sistema influyen en la morfogénesis de sistemas similares posteriores. El único modo de hacerlo consiste en apelar a analogías.

La analogía física que, en este sentido, parece más apropiada es la de la *resonancia*. La resonancia energética se produce cuando la oscilación que actúa sobre un determinado sistema coincide con su frecuencia natural de vibración. Entre los ejemplos que podemos citar al respecto se halla la vibración "simpática" de una cuerda tensa en respuesta a las

ondas sonoras adecuadas; la sintonización de un receptor de radio con la frecuencia de la onda emitida; la absorción de ondas luminosas de determinada frecuencia por parte de los átomos y de las moléculas que provoca su característico espectro de absorción y la respuesta de los electrones y de los núcleos atómicos en presencia de campos magnéticos a la radiación electromagnética en la resonancia electrónica del espín y la resonancia magnética nuclear. Común a todos estos tipos de resonancias se halla el principio de selectividad según el cual, de una combinación de diferentes vibraciones, por más complejas que sean, el sistema únicamente responde a determinadas frecuencias.

El efecto "resonante" que la forma tiene sobre la forma a través del espacio y el tiempo se asemeja, en lo que respecta a su selectividad, a la resonancia energética, pero no podría ser explicada en función de ninguna de las modalidades conocidas de resonancia ni implicaría tampoco transmisión alguna de energía. Por ello, en un intento de diferenciar este proceso de la resonancia energética, lo denominamos *resonancia mórfica*.

Pero hay otro sentido en el que la resonancia mórfica se asemeja a la resonancia energética y es que tiene lugar entre sistemas oscilantes. Los átomos, las moléculas, los cristales, los orgánulos, las células, los tejidos, los órganos y los organismos están compuestos por partes que oscilan de continuo y que presentan sus pautas de vibración y ritmo interno característico o, dicho de otro modo, que las unidades mórficas no son estáticas, sino dinámicas.³ Pero mientras que la resonancia energética sólo depende de la especificidad de la respuesta a determinadas frecuencias, a estímulos "unidimensionales",⁴ la resonancia mórfica depende de pautas de vibración tridimensionales. Gracias a la resonancia mórfica, la forma de un sistema, incluida su estructura interna y su frecuencia vi-

bratoria característica, se hace *presente* en cualquier sistema similar posterior o, lo que es lo mismo, la pauta espacio temporal de aquél acaba *superponiéndose* a la de éste.

La resonancia mórfica tiene lugar a través de campos morfogenéticos y da lugar a sus estructuras características. Y es que un determinado campo morfogenético no sólo ejerce (como ya hemos mencionado en el capítulo anterior) una influencia sobre la forma de un sistema, sino que la forma de este sistema ejerce, a su vez, una influencia sobre el campo morfogenético y, a través de él, se hace presente ante sistemas posteriores similares.

5.4. LA INFLUENCIA DEL PASADO

La resonancia mórfica no es energética y los campos morfogenéticos no son un tipo de masa ni de energía. Por ello no parece haber razón a priori por la que deba obedecer a las leyes que regulan el movimiento de los cuerpos, las partículas y las ondas. En particular, no parece verse atenuada por la separación espacial o temporal existente entre sistemas similares, y podría ser tan eficaz a través de decenas de miles de kilómetros como de un centímetro y de un siglo como de media hora.

Adoptemos, por el momento, para simplificar las cosas, la hipótesis provisional de que la resonancia mórfica no se ve atenuada por el tiempo ni por el espacio.

Y supongamos también, por mor de simplicidad, que la resonancia mórfica sólo tiene lugar desde el *pasado*, es decir, que sólo las unidades mórficas que ya han existido pueden tener una influencia mórfica en el presente. La idea de que sistemas *futuros*, es decir, de sistemas que todavía no existen, puedan ejercer una influencia causal con efecto temporal-

mente "retroactivo" resulta lógicamente concebible.⁵ Pero sólo deberíamos tener seriamente en cuenta esa posibilidad si contásemos con pruebas empíricas convincentes que corroborasen la influencia física de unidades mórficas futuras.⁶

Pero ¿cómo, suponiendo que sólo exista una resonancia mórfica con las unidades mórficas del pasado y que no se ve atenuada por el paso del tiempo ni por la distancia, tiene eso lugar? Apelemos, para visualizar este proceso, a varias metáforas diferentes. La influencia mórfica de un sistema pasado podría tornarse presente ante un sistema similar posterior, yendo "más allá" del espacio y del tiempo y "reapareciendo" en el momento y lugar en el que apareciese una pauta semejante de vibración. También podría estar conectada a través de otras "dimensiones" o podría desplazarse a través de un "túnel" espaciotemporal para emerger luego imperturbable ante un sistema posterior similar. O también sería posible que la influencia mórfica de los sistemas pasados estuviese presente por doquier. Pero es muy probable que no haya modo experimental de identificar estas diferentes modalidades de la resonancia mórfica. Todas ellas tendrían, en suma, la misma consecuencia: las formas de los sistemas del pasado se harían automáticamente presentes ante sistemas posteriores semejantes. En este sentido, la resonancia mórfica supondría un refuerzo de la similitud.

Una implicación inmediata de esta hipótesis es que un determinado sistema podría verse influido por *todos* los sistemas previos que hayan tenido una forma y una pauta vibratoria similar. La hipótesis afirma que la influencia de los sistemas pasados no se ve debilitada por el distanciamiento temporal o espacial. Sin embargo, la capacidad de influencia de los sistemas anteriores sobre sistemas posteriores podría debilitarse o agotarse debido a la acción y podría darse el caso incluso de que sólo tuvieran una influencia potencial

limitada que acabaría consumiéndose. Ésta es una posibilidad que discutiremos con cierto detenimiento en la sección 5.5. Consideremos, en primer lugar, la posibilidad de que su influencia no se viese reducida de este modo, lo que implicaría que las formas de todos los sistemas anteriores ejercen una influencia sobre sistemas posteriores similares (figura 12). Son varias las importantes consecuencias de este postulado:

I. El primer sistema con una determinada forma ejerce una influencia sobre el segundo, luego el primero y el segundo influyen sobre el tercero, y así sucesivamente. A lo largo de este proceso acumulativo, la influencia directa de un determinado sistema sobre cualquier sistema posterior va diluyéndose progresivamente con el paso del tiempo. Y, aunque su efecto absoluto no desaparezca, su efecto *relativo* va reduciéndose en la medida en que aumenta el número total de sistemas similares anteriores (figura 12).

II. La forma de las unidades químicas, incluidas las formas de las más sencillas, es variable. Las partículas subatómicas se

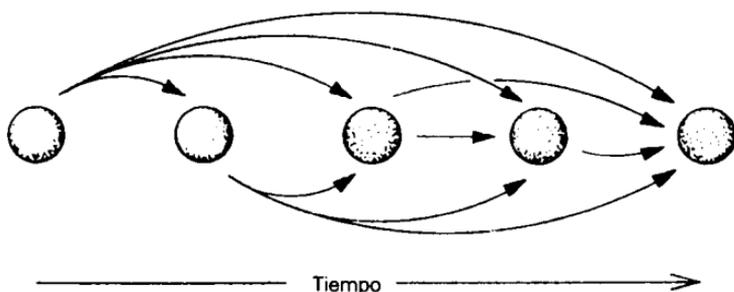


FIGURA 12. Diagrama en el que se muestra la influencia acumulativa, debido a la resonancia mórfica, de los sistemas anteriores sobre sistemas similares posteriores.

hallan en continuo movimiento vibratorio y los átomos y las moléculas se encuentran sometidos a un proceso de deformación debido a la colisión mecánica y a la acción de campos magnéticos y eléctricos. Las unidades mórficas biológicas son todavía más variables y sería muy improbable, aun en el caso de que las células y los organismos tuviesen la misma constitución genética y se desarrollaran bajo las mismas condiciones, que fuesen, en todos los aspectos, idénticos.

Debido a la resonancia mórfica, las formas de todos los sistemas anteriores similares se tornan presentes cuando aparece un sistema posterior formalmente similar. Aun suponiendo que se ajustaran las diferencias de tamaño absoluto (véase sección 6.3), seguiría habiendo muchas diferencias de detalle entre ellas. Por ello, aun en el caso de que se viesen superpuestas por resonancia mórfica, no coincidirían con precisión. El resultado sería un proceso de *promediado automático* que acabaría reforzando los rasgos comunes a la mayoría de los sistemas anteriores. Pero esta forma “promediada” no se hallaría claramente definida en el campo morfogenético, sino delimitada por un “contorno impreciso” debido al efecto de las variantes menos comunes.

Podemos visualizar más claramente este proceso utilizando una analogía con las “fotografías compuestas” obtenidas al superponer las imágenes fotográficas de diferentes individuos. Y es que, si bien la superposición refuerza las características comunes, las diferencias existentes entre las diferentes imágenes individuales explican la indefinición característica de las fotografías “promediadas” (figuras 13 y 14).

III. El promediado automático de las formas anteriores provoca una distribución de probabilidad espacial del campo morfogenético o, dicho en otras palabras, una “estructura de probabilidad” (véase lo que, al respecto, hemos dicho en la



FIGURA 13. Retratos de tres hermanas de frente y de perfil con las correspondientes formas compuestas. Las fotografías fueron hechas por Francis Galton que, hace ya más de un siglo, inventó la técnica de la fotografía compuesta. (Pearson, 1924. Reproducida por cortesía de la Cambridge University Press.)



FIGURA 14. Arriba: fotografías compuestas de oficiales y hombres de la Royal Engineers, por Francis Galton. (Pearson, 1924. Reproducidas por cortesía de la Cambridge University Press.)

Abajo: fotografías compuestas de 30 mujeres y 45 hombres del personal del Instituto John Innes, Norwich. (Reproducidas por cortesía del Instituto John Innes.)

sección 4.3). Es la estructura de probabilidad de un campo morfogenético la que determina el posible estado de un sistema que se halle bajo su influencia con arreglo a los estados *reales* de todos los sistemas pasados similares. En este sentido, la forma más probable que asuma el sistema será la que más frecuentemente se haya presentado.

IV. Durante los primeros estadios de la historia de una determinada forma, el campo morfogenético se halla muy mal definido y depende mucho de las variaciones individuales. En la medida en que pasa el tiempo, sin embargo, la influencia acumulada por los innumerables sistemas anteriores consolida la estabilidad del campo. Cuanto más probable sea el tipo promedio, mayor será la probabilidad de que se repita en el futuro.

La cuenca de atracción del campo morfogenético, por decirlo en otras palabras, será, al comienzo, relativamente superficial, pero irá profundizándose en la medida en que aumente el número de sistemas que contribuyan a la resonancia mórfica. O, por utilizar todavía otra metáfora, la forma va convirtiéndose, merced a la repetición, en un surco que se profundiza cuanto más se repite.

V. El alcance de la influencia ejercida por determinados sistemas sobre sistemas posteriores similares probablemente dependa del tiempo que sobrevivan. Un sistema que sobreviva un año puede tener, en este sentido, un efecto más intenso que otro que se desintegre al cabo de un segundo. Es muy posible, pues, que el promedio automático se "incline" en favor de las formas anteriores más duraderas.

VI. Al comienzo de un proceso morfogenético, el germen morfogenético entra en resonancia mórfica con sistemas simila-

res anteriores que forman parte de unidades mórficas supraordenadas asociadas, por tanto, con el campo morfogenético de la unidad mórfica de nivel superior (véase sección 4.1). Representemos al germen morfogenético por la unidad mórfica F y a la forma final hacia la que el sistema se ve atraído por D-E-F-G-H. Y representemos a los estadios intermedios de la morfogénesis como muestra la figura 15. El germen morfogenético y los estadios intermedios no serán los únicos en entrar en resonancia mórfica con la forma *final* de sistemas similares anteriores, sino que las fases intermedias también entrarán en resonancia mórfica con las fases intermedias similares (E-F, D-E-F, etc.) de morfogénesis semejantes anteriores. Así es como la resonancia mórfica acaba estabilizando esos estadios y dando lugar a una creoda que va reforzándose cuanto más se siga esta vía morfogenética concreta. En términos del modelo de “paisaje epigenético” (figura 5), el valle de la creoda será más profundo cuantas más veces se vea atravesado por el proceso de desarrollo.

5.5. IMPLICACIONES DE LA RESONANCIA MÓRFICA ATENUADA

La discusión presentada en la sección anterior se basaba en el supuesto de que, aunque la influencia mórfica de un determinado sistema no se agota al actuar sobre sistemas similares subsiguientes, su efecto *relativo* va diluyéndose en la medida en que aumenta el número de sistemas similares. Consideraremos ahora la alternativa contraria, es decir, la posibilidad de que esa influencia vaya agotándose.

Tal agotamiento, en el caso de que se produjera, sólo sería detectable si fuese muy rápido. Empecemos considerando el caso extremo en el que la influencia de un sistema se agota al

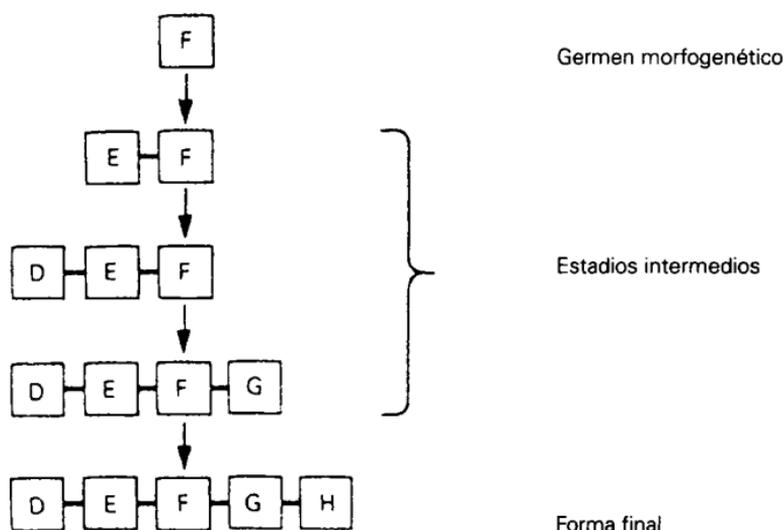


FIGURA 15. Diagrama de las fases de la morfogénesis agregativa de la unidad mórfica D-E-F-G-H a partir del germen morfogénético F.

entrar en resonancia mórfica con un solo sistema posterior. Si el número de sistemas similares aumentase con el tiempo, la mayoría quedaría fuera de la influencia de la resonancia mórfica ejercida por sistemas similares anteriores (figura 16 A). En consecuencia, el “azar” o la “creatividad” podrían llevarles a adoptar libremente formas diferentes. Las formas, pues, de esos sistemas podrían ser variables.

Consideremos a continuación el caso en que un sistema pueda ejercer una influencia sobre dos sistemas posteriores. En la situación representada en la figura 16 B, se estabilizarían, por resonancia mórfica, la mayor parte de las formas subsiguientes, pero no todas. En el caso de que la acción se ejerciese sobre tres sistemas posteriores, todos ellos se estabilizarían y la inestabilidad formal sólo aparecería si los sistemas similares posteriores aumentaran con mayor rapidez,

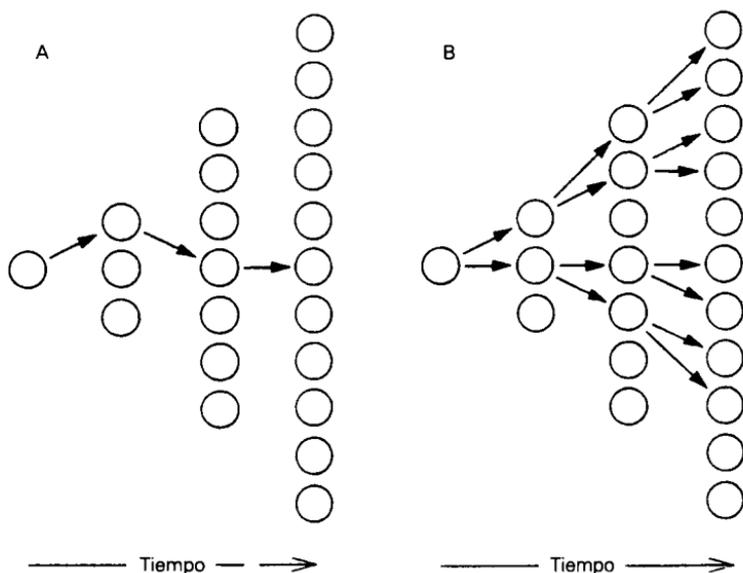


FIGURA 16. Diagrama de las situaciones en que la influencia de los sistemas anteriores se agota por resonancia mórfica con un único sistema posterior (A) y con dos sistemas posteriores (B).

como sucede, por ejemplo, en el caso de una explosión de población. Y, si cada sistema ejerciera una influencia sobre muchos sistemas posteriores, resultaría prácticamente imposible detectar un agotamiento tan lento, aunque finito.

Supongamos, para simplificar las cosas, que la influencia mórfica de un sistema sobre sistemas similares subsiguientes *no* se agotase..., sin olvidar, no obstante, que no es más que una mera suposición. La cuestión podría estudiarse empíricamente, al menos, hasta permitirnos diferenciar, por ejemplo, entre un ritmo rápido de agotamiento de la influencia mórfica, por un lado, y un ritmo lento o nulo, por el otro.

5.6. UNA PRUEBA EXPERIMENTAL CON LOS CRISTALES

Según la teoría convencional, la forma singular de los sistemas químicos y biológicos podría predecirse, antes de aparecer por vez primera, en función de principios derivados de la mecánica cuántica, el electromagnetismo, la causalidad energética, etc. Según la hipótesis de la causación formativa, por el contrario, resulta imposible predecir anticipadamente esas formas y lo único que podemos hacer es esbozar el abanico de formas posibles. El fracaso, por tanto, de la teoría convencional para establecer predicciones únicas constituiría una evidencia clara tanto contra como a favor de la hipótesis de la causación formativa. En la práctica, sin embargo, tal posibilidad jamás sería concluyente, porque sólo son posibles cálculos aproximados y los defensores de esta teoría, en consecuencia, siempre podrán argumentar la posibilidad de establecer, partiendo de datos más exactos, predicciones más concretas.

Afortunadamente, la hipótesis de la causación formativa difiere de la teoría convencional en un segundo aspecto muy importante. Según esta última, las causas que dan lugar a la primera, segunda, décima, centésima, milésima o millonésima vez deberían operar exactamente del mismo modo, puesto que se asume que son inmutables. La misma expectativa se deriva de las teorías que tratan de explicar las formas empíricamente observables en términos de formas arquetípicas eternas o de verdades matemáticas trascendentes. Según, no obstante, la hipótesis de la causación formativa, la forma de un sistema depende de la influencia mórfica acumulativa que afecta a sistemas similares anteriores. Por ello esa influencia será mayor la milésima vez que la centésima y ésta mayor también que la décima. Si pudiésemos demostrar empírica-

mente este aspecto acumulativo de la causación formativa, estaríamos en condiciones de diferenciar esta hipótesis de la teoría convencional y de las teorías platónicas y pitagóricas.

En el caso de que las unidades mórficas hayan existido durante un largo período de tiempo, miles de millones de años en el caso del átomo de hidrógeno, el campo morfogenético se hallaría tan asentado que sería realmente inmutable. Aun los campos morfogenéticos de unidades mórficas cuyo origen se remonta a siglos o décadas pueden estar sujetos a la influencia de tantos sistemas anteriores que cualquier aumento de esa influencia resultaría demasiado pequeño como para ser detectado. Pero en el caso de formas nuevas, sería posible detectar experimentalmente el efecto acumulativo de la influencia mórfica.

Consideremos, por ejemplo, el caso de una sustancia química recién sintetizada que jamás haya existido con anterioridad. Según la hipótesis de la causación formativa, no hay modo de predecir la forma cristalina que asumirá y todavía no existe, para ella, campo morfogenético alguno. Una vez, no obstante, que haya cristalizado por primera vez, la forma de sus cristales ejercerá, por resonancia mórfica, una influencia sobre las cristalizaciones posteriores, que se verán, de ese modo, proporcionalmente favorecidas. Por ello, es posible que la primera ocasión en que cristalice lo haga con dificultad, pero que, en ocasiones posteriores, aumente la facilidad de cristalización en la medida en que aumenta, por resonancia mórfica, el efecto acumulado de los cristales anteriores que contribuyen a su campo morfogenético.

De hecho, los químicos que han sintetizado sustancias químicas completamente nuevas tienen dificultades para lograr que cristalicen por vez primera. Con el paso del tiempo, sin embargo, aumenta la facilidad de cristalización de esas sustancias. A veces pueden pasar muchos años antes de que tenga

lugar la cristalización. La turanosa, por ejemplo, un tipo de azúcar, se consideró, durante varias décadas, un líquido, pero después del momento en que, durante la década de 1920, se logró que cristalizase, se empezó a cristalizar rápidamente por todo el mundo.⁷ Todavía más sorprendentes son los casos en los que una determinada modalidad de cristalización acaba viéndose reemplazada por otra. El xilitol, por ejemplo, un alcohol del azúcar utilizado como edulcorante en la fabricación del chicle sintetizado en 1891 fue considerado un líquido hasta el año 1942, en que acabó cristalizando a 61 °C. Al cabo de pocos años, apareció otra forma, con un punto de fusión de 94 °C, y la primera forma dejó misteriosamente de aparecer.⁸

Las diferentes formas cristalinas que puede asumir un determinado compuesto se denominan “polimorfos”. Son muchos los ejemplos que, en este sentido, podríamos aducir, como la calcita y la aragonita (formas cristalinas diferentes del carbonato de calcio) o el grafito y el diamante (formas cristalinas diferentes del carbono). Pero hay ocasiones, no obstante, como ilustra, por ejemplo, el mencionado caso del xilitol, en las que la aparición de un nuevo polimorfo acaba desplazando al otro. El siguiente texto, procedente de un libro sobre cristales, ilustra perfectamente la aparición espontánea e inesperada de un nuevo tipo de cristal:

«Hará unos diez años, una empresa dirigía una fábrica que manufacturaba grandes cristales de tartrato de etilendiamina a partir de una solución acuosa. Desde esta planta los cristales se enviaban a otra planta ubicada a muchos kilómetros de distancia, en donde se cortaban y pulían para su uso industrial. Un año después de que dicha fábrica se pusiera en marcha, los cristales del tanque de cristalización empezaron a crecer defectuosamente, ya que, a ellos, se adherían otros

de distinta procedencia que crecían con mayor rapidez. La anomalía en cuestión no tardó en propagarse de una fábrica a otra y los cristales cortados y pulidos presentaban, en su superficie, el mismo defecto...

»Aunque el material que quería fabricarse era tartrato de etilendiamina *anhidro*, lo que se obtenía era la modalidad *monohidratada*. Y aunque, durante los tres años que duró la fase de investigación y desarrollo y el primer año de fabricación, no se produjo ningún cristal de monohidrato, pasado ese tiempo parecía encontrarse por doquier» (A. Holden y P. Singer).⁹

Los autores sugieren la posibilidad de que cristales frecuentes en la Tierra, todavía no hayan aparecido en otros planetas y añaden: «Tal vez existan, en nuestro planeta, especies sólidas desconocidas hasta el momento, pero no tanto porque carezcamos de sus ingredientes, sino sencillamente porque todavía no han aparecido las semillas adecuadas».¹⁰

El reemplazo de un polimorfo por otro es un problema recurrente en el ámbito de la industria farmacéutica. El antibiótico ampicilina, por ejemplo, cristalizó primero en forma de monohidrato, es decir, con una molécula de agua por molécula de ampicilina.

Durante los años sesenta, empezó a cristalizar en forma trihidratada y, a pesar de los persistentes esfuerzos, la modalidad monohidratada acabó desapareciendo completamente de escena.¹¹

El ritonavir fue un fármaco para el sida introducido, en 1996, en el mercado, por Abbott Laboratories. Al año y medio, sin embargo, los ingenieros químicos encargados de su fabricación descubrieron súbitamente la aparición de un polimorfo anteriormente desconocido. Nadie sabía lo que había provocado el cambio y el equipo de Abbott no lograba impedir la formación del nuevo polimorfo que, a los pocos días de su

descubrimiento, dominaba ya toda la línea de producción. Y, aunque la fórmula química de ambos polimorfos era la misma, sus diferencias estructurales provocaban efectos diferentes en los pacientes. El caso es que, como la solubilidad de la segunda modalidad era la mitad que la primera, los pacientes que tomaban la dosis prescrita normal no absorbían el suficiente fármaco, razón por la cual Abbott se vio finalmente obligado a retirar el ritonavir del mercado.

La empresa puso entonces en marcha un plan de choque para tratar de regresar al polimorfo anterior. Finalmente, consiguieron producir la primera modalidad, pero, puesto que no pudieron conseguir un polimorfo fiable, se vieron obligados a comercializar una combinación entre ambas modalidades. Al final la empresa decidió emplear una versión en forma de cápsula de gel líquida que contenía el fármaco disuelto. Fueron centenares de millones de dólares los que la compañía gastó en su intento de recuperar el primer polimorfo y unos 250 los que perdió en ventas el año en que se vio obligada a retirar el fármaco del mercado.¹²

La incapacidad de los químicos para controlar la cristalización es un reto muy serio. «La falta de control es, en realidad, muy inquietante y podría llegar incluso a cuestionar el criterio de reproducibilidad como condición para que un determinado fenómeno merezca ser científicamente investigado.»¹³ La reproducibilidad completa es lo que cabe esperar, basándonos en la creencia de que las leyes de la naturaleza son eternas y las mismas, en todo tiempo y en todo lugar. Pero la desaparición de los polimorfos pone de relieve que la química no es atemporal, sino, como la biología, histórica y evolutiva. O, dicho de otro modo, que lo que sucede ahora depende de lo que ha sucedido antes.

La explicación más evidente de la desaparición de los polimorfos es que las nuevas formas son termodinámicamente

más estables y acaban, por tanto, reemplazando a las más antiguas. Por ello, en competición con las demás, las nuevas formas ganan. Antes de que existieran las nuevas formas no había alternativa, pero, a partir del momento en que llegan, se difunden por los laboratorios de todo el mundo y acaban barriendo a las viejas. El químico estadounidense C.P. Saylor comentó, a este respecto, «es como si las semillas de la cristalización, como el polvo, hubiesen sido llevadas por el viento de un extremo a otro de la Tierra».¹⁴

No cabe la menor duda de que pequeños fragmentos de cristales anteriores, actuando a modo de “semillas” o “núcleos”, pueden facilitar el proceso de cristalización de una solución supersaturada. Ése es el motivo por el que los químicos siempre han creído que la expansión de nuevos procesos de cristalización depende de la transferencia de semillas de un laboratorio a otro, como si se tratara de una forma de infección. Una conocida leyenda favorita del folclore de la química afirma que esas semillas van de un laboratorio a otro en las barbas de científicos emigrantes, que, en palabras de un profesor de ingeniería química de la Universidad de Cambridge, «pueden albergar gérmenes que sirven casi para cualquier proceso de cristalización».¹⁵ Otra explicación alternativa afirma que las “semillas” de los cristales viajan a través de la atmósfera como partículas microscópicas de polvo que acaban aterrizando en cápsulas en las que catalizan la cristalización de nuevas sustancias.

La formación de nuevos tipos de cristales proporciona, pues, una forma de verificar la hipótesis de la resonancia mórfica. Según la hipótesis convencional, si filtrásemos las partículas de polvo de la atmósfera y excluyésemos cuidadosamente la presencia de visitantes procedentes de otros laboratorios, los cristales no deberían formarse más rápidamente en un laboratorio de Canadá después de haberlo logra-

do en un laboratorio de Inglaterra. Si, a pesar de ello, asistiésemos a un incremento en la velocidad de formación de la nueva modalidad, ese resultado subrayaría la hipótesis de la resonancia mórfica.

Es posible investigar los efectos de la resonancia mórfica comparando la cristalización de varios productos químicos recién sintetizados, supongamos que cuatro. Para ello, habría que comenzar determinando la tasa de formación, en condiciones estandarizadas, de esos cristales. Luego, en un segundo laboratorio, se selecciona al azar uno de los compuestos, se fabrica en gran cantidad y se repite la cristalización. Posteriormente, en un tercer laboratorio, ubicado a miles de kilómetros de distancia, se estudia la tasa de cristalización, en condiciones igualmente estandarizadas, de los cuatro compuestos. La hipótesis de la resonancia mórfica predice que el compuesto seleccionado al azar debería cristalizar ahora más rápidamente que antes, pero debe haber poco o ningún cambio en la tasa de cristalización de los otros tres compuestos.

En las secciones 7.4, 7.6, 11.2 y 11.4 esbozaremos posibles experimentos similares con sistemas biológicos.

6. LA CAUSACIÓN FORMATIVA Y LA MORFOGÉNESIS

6.1. MORFOGÉNESIS SECUENCIAL

Después de que las partículas subatómicas se agreguen formando átomos, los átomos pueden combinarse formando moléculas y lo mismo pueden hacer las moléculas formando cristales. Y, siempre y cuando la temperatura se halle por debajo del punto de fusión de la sustancia, los cristales mantendrán siempre su forma. En el caso de los organismos vivos, sin embargo, los procesos morfogenéticos se producen indefinidamente en los ciclos infinitamente repetidos del crecimiento y la reproducción.

El organismo vivo más sencillo está compuesto por células individuales, cuyo desarrollo va seguido de un proceso de división y éste de un nuevo crecimiento. Por ello el germen morfogenético de las creodas de la división debe aparecer en las formas finales de las células que han concluido el proceso de crecimiento y las células que acaban de dividirse sirven, por su parte, como punto de partida para las creodas del crecimiento y el desarrollo celular.

Estos ciclos sólo prosiguen, en el caso de los organismos multicelulares, en algunas de las células, por ejemplo en las células germinales, en las células del tallo y en las células meristemáticas. Otras células y, de hecho, tejidos y órganos enteros, se desarrollan formando una variedad de estructuras

especializadas que luego sólo experimentan unos pocos cambios morfogenéticos. Dejan de crecer, aunque pueden conservar la capacidad de regenerarse después de experimentar una lesión y, más pronto o más tarde, acaban muriendo. En realidad, son mortales precisamente porque dejan de crecer.¹

El desarrollo de los organismos multicelulares discurre a través de una serie de estadios controlados por una serie de campos morfogenéticos. En primer lugar, los tejidos embrionarios se desarrollan bajo el control de campos embrionarios primarios. Antes (durante el desarrollo en "mosaico") o después (durante el desarrollo "regulativo") distintas regiones caen bajo el influjo de campos secundarios; en el caso de los animales, los de las extremidades, los ojos, las orejas, etc., y, en el de las plantas, los de las hojas, los pétalos, los estambres, etc. Hablando en términos generales, la morfogénesis provocada por los campos primarios no es espectacular, pero es de fundamental importancia porque establece las diferencias características existentes entre las células de distintas regiones que (según la presente hipótesis) le permiten actuar como gérmenes morfogenéticos de los campos de los órganos. Así pues, en los tejidos que se desarrollan bajo su esfera de influencia, aparecen gérmenes de campos subsidiarios que controlan la morfogénesis de las diferentes estructuras que forman parte de la totalidad del órgano (la lámina, las estípulas, el pecíolo, etc., en el caso de una hoja, por ejemplo, o la córnea, el iris, el cristalino, etc., en el caso de un ojo). Y luego intervienen también campos infraordenados como, por ejemplo, los de la diferenciación vascular de la lámina de una hoja y la diferenciación de los estomas y las células pilosas de su superficie.

Estos campos pueden investigarse —y, de hecho, ya se han visto experimentalmente investigados— estudiando la capacidad de los organismos en proceso de desarrollo para regene-

rarse después de experimentar lesiones en diferentes regiones del tejido embrionario y al injertar, en una zona, tejido procedente de otra. Tanto en los embriones animales como en las regiones meristemáticas de las plantas, la autonomía de las diferentes regiones aumenta en la medida en que los tejidos se desarrollan. Y, si bien el sistema, en tanto que totalidad, pierde la capacidad de regularse, las regulaciones locales ocurren dentro de los órganos en proceso de desarrollo en la medida en que campos secundarios más numerosos reemplazan a los cambios embrionarios primarios.²

6.2. LA POLARIDAD DE LOS CAMPOS MORFOGENÉTICOS

La mayor parte de las unidades mórficas biológicas se encuentran polarizadas, al menos en una de sus direcciones. Sus campos morfogénéticos, que contienen formas virtuales polarizadas, se orientarán automáticamente, si sus gérmenes morfogénéticos se hallan intrínsecamente polarizados, en una dirección apropiada, pero, si no es éste el caso, el proceso comenzará asumiendo una polaridad. El desarrollo de las células sexuales esféricas del alga *fucus*, por ejemplo, que carecen de polaridad inherente, sólo puede iniciarse después de haberse visto polarizadas por algún tipo de estímulo direccional, como la luz, algún gradiente químico o una corriente eléctrica y, en su ausencia, asume una polarización al azar, presumiblemente debida a fluctuaciones fortuitas.

Casi todos los organismos multicelulares se hallan polarizados en una dirección brote-raíz o cabeza-cola, muchos en una segunda dirección (ventro-dorsal) y los hay que incluso asumen un tercer eje de polarización (como, por ejemplo, izquierdo-derecha). Estos últimos son consecuentemente asi-

métricos y potencialmente capaces de asumir formas especulares, como, por ejemplo, los caracoles con conchas espiraladas. La mayoría de las personas tienen el corazón inclinado hacia la izquierda, pero unos pocos, sin embargo, lo tienen al revés. Y, en la condición conocida como *situs inversus totalis*, se halla invertida la posición de todos los órganos del pecho y del abdomen.

Las estructuras bilateralmente simétricas presentan, a ambos lados del organismo, formas “dextrógira” y “levógira” como, por ejemplo, la mano derecha y la mano izquierda.

Estas formas especulares se atienen a la misma morfología y supuestamente bajo la influencia de los mismos campos morfogenéticos. El campo adopta simplemente la tendencia del germen morfogenético al que se halla asociado. Por ello los sistemas dextrógiros y levógiros anteriores ejercen, por resonancia mórfica, una influencia sobre los sistemas dextrógiros y levógiros posteriores.

Esta interpretación se ve respaldada por algunos fenómenos bioquímicos muy conocidos. Las moléculas de los aminoácidos y de los azúcares son asimétricas y pueden existir en sus modalidades dextrógira y levógira. En el caso de los organismos vivos, sin embargo, todos los aminoácidos de las proteínas son levógiros, mientras que la mayoría de azúcares, por su parte, son dextrógiros. La perpetuación de estas asimetrías químicas es posible gracias a las estructuras asimétricas de las enzimas que catalizan la síntesis de las moléculas. Es rara la presencia, fuera de los organismos vivos, de la mayoría de aminoácidos y azúcares. Por ello esas formas asimétricas concretas deberían tener una influencia abrumadora, por resonancia mórfica, sobre los campos morfogenéticos de las moléculas. Pero lo cierto es que, cuando se sintetizan artificialmente, se obtiene la misma cantidad de la modalidad dextrógira que de la levógira, lo que indica la inexistencia, en los

campos morfogenéticos, de una tendencia intrínseca en uno u otro sentido.

6.3. EL TAMAÑO DE LOS CAMPOS MORFOGENÉTICOS

Las dimensiones de las unidades mórficas atómicas y moleculares son más o menos constantes, como ilustra el caso de las retículas cristalinas, aunque éstas se repitan indefinidamente formando cristales de diferentes tamaños. Las unidades mórficas biológicas son las más variables porque, en este caso, no sólo existen diferencias entre células, órganos y organismos, sino que las mismas unidades mórficas individuales cambian de tamaño en la medida en que crecen. Si la resonancia mórfica se produce a partir de sistemas anteriores de forma similar, aunque de distinto tamaño y, si un determinado campo morfogenético permanece asociado a un sistema en proceso de desarrollo, las formas deben ser capaces, dentro de su campo morfogenético, de “aumentar” o “disminuir” de escala. Sus rasgos esenciales, por tanto, no dependen de las posiciones absolutas de los elementos que los componen, como de la posición relativa de los mismos y de su tasa de vibración relativa. Consideremos, a modo de simple analogía, la música que suena al poner en marcha un gramófono a distintas velocidades. Podemos reconocerla a pesar de los cambios absolutos que experimentan los tonos y los ritmos debido a las relaciones que éstos mantienen entre sí.

Aunque los campos morfogenéticos sean, hablando en términos absolutos, adaptables, el rango de variabilidad que puede asumir el tamaño de un sistema se halla limitado por imperativos físicos. En el caso de los sistemas tridimensionales, por ejemplo, los cambios de superficie y volumen varían

en función del cuadrado y del cubo respectivamente de la dimensión lineal. Este sencillo hecho significa que los sistemas biológicos sólo pueden mantenerse estables dentro de ciertos límites.³

6.4. LA CRECIENTE ESPECIFICIDAD DE LA RESONANCIA MÓRFICA DURANTE LA MORFOGÉNESIS

La resonancia energética no es un proceso del tipo “todo o nada”; un sistema entra en resonancia en respuesta a un rango de frecuencias más o menos cercanas a su frecuencia natural, aunque la máxima respuesta sólo tiene lugar cuando ambas coinciden. De manera parecida, la resonancia mórfica puede “sintonizarse” con mayor o menor exactitud, siendo su especificidad mayor cuanto más se asemejan las formas de los sistemas anteriores y presente.

Cuando un germen morfogenético entra en resonancia mórfica con las formas de innumerables sistemas supraordenados anteriores, estas formas no coinciden exactamente, pero dan lugar a una estructura de probabilidad. Y, en la medida en que tienen lugar los primeros estadios de la morfogénesis, las estructuras se actualizan en determinados lugares en las regiones establecidas por la estructura de probabilidad. Ahora el sistema cuenta con una forma más desarrollada y mejor definida y se asemejará más que otros, en consecuencia, a la forma de sistemas similares anteriores. Dicho de otro modo, la resonancia mórfica de estas formas será más específica y, por tanto, más eficaz. Y, en la medida en que el desarrollo avanza, la selectividad de la resonancia mórfica aumentará en consecuencia.

Este principio se ve perfectamente ilustrado por el desarrollo de un organismo a partir de un huevo fertilizado. Las pri-

meras fases del desarrollo embriológico suelen parecerse a las de otras muchas especies, familias u órdenes. Pero, en la medida que avanza el proceso de desarrollo, empiezan a aparecer secuencialmente los rasgos particulares característicos del orden, de la familia, del género y de la especie hasta que, en último lugar, aparecen las diferencias relativamente pequeñas que diferencian a un individuo del resto de los que pertenecen a su misma especie.

Esta creciente resonancia mórfica específica tiende a canalizar el desarrollo hacia determinadas versiones de la forma final expresada en organismos anteriores. La vía detallada de desarrollo se verá afectada tanto por factores genéticos como por factores ambientales. Así, por ejemplo, un organismo con una determinada constitución genética tenderá a desarrollarse de forma que entre en resonancia mórfica con individuos anteriores de igual constitución genética y los efectos ambientales de la resonancia mórfica tenderán a llevar al organismo sometido a resonar con los organismos anteriores desarrollados en el mismo entorno.

Las unidades mórficas similares anteriores que formaron parte del mismo organismo ejercerán, en este sentido, un efecto más específico. Es muy probable, por ejemplo, que, durante el proceso de desarrollo de las hojas de un árbol, las formas de las hojas previas del mismo árbol contribuyan significativamente al campo morfogenético, tendiendo a estabilizar la forma de la hoja característica de ese árbol concreto.

6.5. LA CONSERVACIÓN Y LA ESTABILIDAD DE LAS FORMAS

Al final de un proceso de morfogénesis, la forma real de un sistema coincide con la forma virtual establecida por el cam-

po morfogenético. La continua asociación del sistema con su campo se aprecia más claramente en el fenómeno de la regeneración. La restauración de la forma del sistema después de pequeñas desviaciones de la forma final resulta menos evidente, pero no, por ello, menos importante. La unidad mórfica se halla continuamente estabilizada por su campo morfogenético. En los sistemas biológicos y, hasta cierto punto también, en los sistemas químicos, esta constancia de la forma permite el mantenimiento de las unidades mórficas al cambiar incluso las partes que las constituyen, ya que éstas se ven reemplazadas. El mismo campo morfogenético persiste gracias a la continua influencia de las formas de sistemas anteriores similares.

Un rasgo extraordinariamente interesante de la resonancia mórfica que actúa sobre un sistema con una forma persistente es que a ella contribuyen también los estados anteriores del mismo sistema. En la medida en que un sistema se asemeja más a una forma anterior propia que a cualquier otro sistema, esta autorresonancia tendrá una especificidad muy elevada que puede, de hecho, resultar crucial para el mantenimiento de la identidad del sistema.

Ya no podemos seguir pensando en la materia como si estuviera constituida por partículas sólidas a modo de pequeñas bolas de billar que perduran a través del tiempo. Los sistemas materiales son estructuras dinámicas que se hallan en un continuo proceso de recreación. Según la presente hipótesis, la persistencia de las formas materiales depende de una actualización continuamente repetida del sistema bajo la influencia de su campo morfogenético. Y, al mismo tiempo, el campo morfogenético se ve continuamente recreado por resonancia mórfica con formas similares anteriores. Las formas más similares y que por tanto ejercerán un mayor efecto serán las que poseía el mismo sistema en el pasado inmediato. Esta conclu-

sión debería tener profundas implicaciones físicas: la resonancia preferencial de un sistema consigo mismo en el pasado inmediato podría proporcionarnos una explicación teórica de su persistencia en un tiempo y un lugar determinados.⁴

6.6. UNA NOTA SOBRE EL “DUALISMO” FÍSICO

Todas las unidades mórficas reales pueden ser consideradas como *formas de energía*. Por una parte, sus estructuras y pautas de actividad dependen de los campos morfogenéticos con los que están asociados y bajo cuya influencia se han originado. Su misma existencia y la capacidad de interactuar con otros sistemas materiales se deben, por otra parte, a la energía que los vincula. Pero aunque, desde una perspectiva teórica, sea posible separar estos aspectos de la forma y de la energía, lo cierto es que, en realidad, siempre aparecen asociados. Ninguna unidad mórfica puede tener energía sin forma y no hay forma material que exista despojada de energía.

Esta “dualidad” física de la forma y de la energía explicitada por la hipótesis de la causación formativa tiene mucho en común con la denominada dualidad onda-partícula de la que habla la física cuántica.

Según la hipótesis de la causación formativa, la diferencia entre la morfogénesis de los átomos y la de las moléculas, los cristales, las células, los tejidos, los órganos y los organismos es tan sólo de grado. Si definimos el “dualismo” de un modo tal que los orbitales de los electrones de los átomos impliquen una dualidad de ondas y partículas o de forma y energía, lo mismo podríamos hacer con respecto a las formas más complejas de unidades mórficas supraordenadas, pero si, por el contrario, no los consideramos dualistas, nos veremos obligados a concluir que éstas tampoco lo son.⁵

Existe, a pesar de su similitud, una diferencia entre la hipótesis de la causación formativa y la teoría convencional. Esta última no nos proporciona ninguna comprensión fundamental de la causación de las formas, a menos que supongamos que las ecuaciones o "estructuras matemáticas" que las describen desempeñan un papel causal porque, en tal caso, existirá un dualismo muy misterioso entre las matemáticas y la realidad. La hipótesis de la causación formativa resuelve este problema considerando que las formas de sistemas anteriores son la causa de las formas similares posteriores. Desde la perspectiva convencional, sin embargo, este remedio parece peor que la enfermedad, porque requiere un efecto a través del tiempo y el espacio ajeno a todo tipo de acción física conocida. A pesar de ello, no obstante, no se trata de una elucubración metafísica, sino de una proposición física y que puede, en consecuencia, ser verificada experimentalmente.

Si aportamos pruebas experimentales que respalden esta hipótesis, no sólo podremos interpretar los diferentes campos de materia de la teoría del campo cuántico en términos de campo morfogenético, sino alcanzar también, de ese modo, una nueva comprensión de otros campos físicos.

En el campo morfogenético de un átomo, un núcleo atómico desnudo rodeado de orbitales virtuales sirve como "atractor" morfogenético de los electrones. Quizás la llamada atracción eléctrica entre el núcleo y los electrones pueda ser considerada como un aspecto de este campo atómico morfogenético. Cuando la forma final del átomo se ha visto actualizada mediante la captura de electrones, deja de actuar como "factor de atracción" morfogenético y es eléctricamente neutro. No resulta inconcebible, por tanto, derivar los campos electromagnéticos de los campos morfogenéticos de los átomos.

También podríamos, de igual modo, interpretar las fuerzas nucleares fuerte y débil en términos de campos morfogenéticos de los núcleos atómicos y de partículas subatómicas.

6.7. RESUMEN DE LA HIPÓTESIS DE LA CAUSACIÓN FORMATIVA

I. Además de los tipos de causalidad energética admitidos por la física y de la causalidad debida a las estructuras de los campos físicos conocidos, existe otro tipo de causalidad responsable de las formas de todas las unidades mórficas materiales (partículas subatómicas, átomos, moléculas, cristales, agregados cuasicristalinos, orgánulos, células, tejidos, órganos y organismos). Y hay que tener en cuenta que nuestra visión de la forma no sólo se refiere a la superficie externa de la unidad mórfica, sino también su estructura interna. Este tipo de causalidad, denominada *causación formativa*, impone un orden espacial a los cambios producidos por la causalidad energética. No es en sí misma energética, ni tampoco puede reducirse a la causalidad originada por los campos físicos conocidos (véanse secciones 3.3 y 3.4.).

II. La causación formativa depende de los *campos morfogenéticos*, es decir, estructuras que tienen un efecto morfogenético sobre los sistemas materiales. Cada tipo de unidad mórfica posee su campo morfogenético característico. En la morfogénesis de una determinada unidad mórfica, una o más de sus partes características —denominadas *gérmenes morfogenéticos*—, está rodeada o se halla inmersa en el campo morfogenético de toda la unidad mórfica. Este campo contiene la forma virtual de la unidad mórfica, que se actualiza en la medida en que las diferentes partes constitutivas ade-

cuadas caen bajo su esfera de influencia y encajan en la posición relativa que les corresponde. El proceso a través del cual las partes de una unidad mórfica asumen su lugar va acompañado de una liberación de energía, habitualmente en forma de calor, que es termodinámicamente espontánea. Desde un punto de vista energético, las estructuras de las unidades mórficas son valores mínimos o "pozos" de energía potencial (véanse secciones 3.4, 4.1, 4.2, 4.4 y 4.5).

III. La mayor parte de las morfogénesis inorgánicas son rápidas, pero las morfogénesis biológicas son relativamente lentas y se producen atravesando una serie de estadios intermedios. Un determinado tipo de morfogénesis suele seguir una vía concreta de desarrollo, una pauta de cambio denominada *creoda*. No obstante, la morfogénesis también puede avanzar hacia la forma final a partir de diferentes gérmenes morfogenéticos y por otros caminos, como sucede, por ejemplo, durante los fenómenos de regulación y regeneración. Durante los ciclos de crecimiento y división celular y el desarrollo de las estructuras diferenciadas de los organismos multicelulares tiene lugar, bajo el efecto de una serie de campos morfogenéticos, una sucesión de procesos morfogenéticos (véanse secciones 2.4, 4.1, 5.4 y 6.1).

IV. La forma característica de una determinada unidad mórfica viene dada por la forma de los sistemas similares anteriores que, en un proceso denominado *resonancia mórfica*, que actúa sobre ella a través del tiempo y del espacio. Esta influencia se produce gracias al campo morfogenético y depende de las estructuras tridimensionales y de las pautas de vibración del sistema. La resonancia mórfica es análoga a la resonancia energética en lo que respecta a su especificidad, pero no puede explicarse en términos de ningún tipo conoci-

do de resonancia, ni implica transmisión alguna de energía (véanse secciones 5.1 y 5.3).

V. Todos los sistemas pasados actúan por resonancia mórfica sobre un sistema posterior semejante. Aunque provisionalmente asumimos que este efecto no se ve amortiguado por el espacio ni el tiempo y que prosigue, en consecuencia, de forma indefinida, lo cierto es que el efecto relativo de un determinado sistema disminuye en la misma medida en que aumenta el número de sistemas similares que contribuyen a la resonancia mórfica (véanse secciones 5.4 y 5.5).

VI. Aunque la hipótesis de la causación formativa da cuenta de la repetición de formas, no explica, no obstante, el modo en que se origina el primer episodio de una determinada forma. Este evento único puede ser atribuido al azar, a la creatividad inherente a la materia o a una instancia creativa trascendente. Pero sólo podemos decidir entre estas alternativas desde una perspectiva metafísica que queda fuera del alcance de la hipótesis (véase sección 5.1.)

VII. La resonancia mórfica provocada por los estadios intermedios de procesos morfogenéticos anteriores similares tiende a encauzar a procesos morfogenéticos similares posteriores hacia las mismas creodas (véase sección 5.4.)

VIII. La resonancia mórfica de los sistemas pasados que posean una polaridad característica sólo pueden ocurrir eficazmente después de que el germen morfogenético de un sistema subsiguiente se haya visto adecuadamente polarizado. Los sistemas que son asimétricos en las tres dimensiones y existen en sus modalidades “diestras” o “zurdas” influyen, por resonancia mórfica, independientemente de su

inclinación, sobre sistemas similares subsiguientes (véase sección 6.2.)

IX. Los campos morfogenéticos son ajustables en tamaño absoluto y pueden, dentro de ciertos límites, “aumentar” o “disminuir” de escala. De este modo, los sistemas anteriores influyen de manera parecida, por resonancia mórfica, en los sistemas posteriores, por más que puedan diferir sus tamaños absolutos (véase sección 6.3.)

X. Aun después del ajuste de tamaño, los muchos sistemas anteriores que influyen, por resonancia mórfica, en un sistema posterior, no son idénticos, sino tan sólo formalmente similares. De ahí que sus formas no se superpongan exactamente dentro del campo morfogenético. El tipo más frecuente de formas previas es el que más contribuye a la resonancia mórfica y viceversa: los campos morfogenéticos no se hallan exactamente definidos, sino que son *estructuras de probabilidad* que dependen de la distribución estadística de formas similares anteriores. Las distribuciones de probabilidad de los orbitales electrónicos descritos por las soluciones de la ecuación de Schrödinger son ejemplos de tales estructuras de probabilidad que se asemejan a las estructuras de probabilidad de los campos morfogenéticos de las unidades mórficas de los niveles supraordenados (véanse secciones 4.3 y 5.4.)

XI. Los campos morfogenéticos de las unidades mórficas influyen en la morfogénesis actuando sobre los campos morfogenéticos de sus elementos constituyentes. Así pues, el campo de los tejidos influye en el de las células, el de las células en los orgánulos, el de los cristales en el de las moléculas, el de las moléculas en los átomos, etc. Estas acciones dependen de la influencia de estructuras de probabilidad supraordena-

das sobre las estructuras de probabilidad infraordenadas y son de naturaleza esencialmente probabilística (véanse secciones 4.3 y 4.4.)

XII. Una vez actualizada la forma final de una unidad mórfica, el efecto continuo de la resonancia mórfica de formas pasadas similares acaba estabilizándola y manteniéndola. Si la forma persiste, la resonancia mórfica que actúa sobre ella incluye una contribución de sus propios estados pasados. Por ello, precisamente, más que a cualquier otro sistema, el sistema se asemeja a sus propios estados pasados, un tipo de resonancia mórfica muy específico que puede llegar a ser extraordinariamente importante en el mantenimiento de la identidad del sistema (véanse secciones 6.4 y 6.5.)

XIII. La hipótesis de la causación formativa puede ser corroborada experimentalmente (véase sección 5.6.)

7. LA HERENCIA DE LA FORMA

7.1. GENÉTICA Y HERENCIA

Las diferencias hereditarias entre organismos similares dependen de diferencias genéticas; las diferencias genéticas dependen de diferencias en la estructura del ADN o en su disposición en el interior del cromosoma, y éstas, a su vez, provocan cambios en la estructura de las proteínas o cambios en el control de la síntesis proteica.

Son muchos los resultados experimentales que corroboran estos fundamentales descubrimientos realizados durante el siglo XX y todos ellos nos proporcionan una comprensión directa y satisfactoria de la herencia de las proteínas y de las características que dependen de modo más o menos directo de determinadas proteínas, como ilustran, por ejemplo, los casos de la anemia falciforme y los defectos hereditarios del metabolismo. Por su parte, las diferencias hereditarias de forma no suelen guardar ninguna relación inmediata y evidente con los cambios en la estructura o en la síntesis de determinadas proteínas. Estos cambios, sin embargo, podrían llegar a afectar, de diferentes modos, a la morfogénesis, a través de su acción sobre las enzimas metabólicas, las enzimas que sintetizan hormonas, las proteínas estructurales, las proteínas de las membranas celulares, etc. Son muchos los ejemplos de este tipo que actualmente conocemos. Pero ¿qué es lo que establece, si diferentes cambios químicos la modifican o distorsionan, la pauta normal de la morfogénesis?

Según la perspectiva proporcionada por el enfoque mecanicista, la forma final asumida por las células, los tejidos, los órganos y los organismos es el resultado de la síntesis de las sustancias químicas apropiadas en el momento y lugar apropiado. Se supone, desde ese punto de vista, que la morfogénesis ocurre de manera espontánea como resultado de complejas interacciones físico-químicas que se atienen a las leyes de la física. ¿A qué leyes de la física, sin embargo, están refiriéndose? Éste es un punto que la visión mecanicista deja simplemente sin responder (véase sección 2.2).

La hipótesis de la causación formativa nos sugiere una nueva forma de abordar esta cuestión. Al tiempo que proporciona una interpretación de la morfogénesis biológica que subraya la analogía con procesos físicos tales como la cristalización, por ejemplo, atribuyendo un papel importante a fluctuaciones energéticamente indeterminadas, no niega, por ello, la posibilidad de que siga cumpliendo con las expectativas de la visión mecanicista. Pero, mientras que ésta atribuye prácticamente todos los fenómenos de la herencia a la herencia genética encarnada en el ADN, los organismos, según la hipótesis de la causación formativa, también heredan los campos morfogenéticos de los organismos anteriores de su misma especie. Este segundo tipo de herencia no discurre por vía genética, sino a través de la resonancia mórfica. La herencia, pues, *incluye* tanto la herencia genética como la resonancia mórfica con formas anteriores similares.

Consideremos la siguiente analogía: la música que emite el altavoz de una radio depende tanto de los elementos materiales que componen el aparato como de la energía que lo alimenta y de la emisora con la que está sintonizado. La música puede, en consecuencia, verse afectada tanto por cambios que tengan lugar en los cables como en los transistores, los condensadores, etc., y se interrumpe apenas le sacamos

las pilas. Alguien que no supiera nada sobre la transmisión de vibraciones invisibles, intangibles e inaudibles a través del campo electromagnético podría llegar a concluir que dicha transmisión sólo se explica en función de las piezas que componen el aparato, del modo en que están dispuestas y de la energía de la que depende su funcionamiento. Y, si tal persona considerase la posibilidad de que entrase algo desde el exterior, acabaría descartándolo al comprobar que no existe diferencia alguna de peso entre el aparato conectado y desconectado. Habría que suponer, por tanto, que las pautas rítmicas y armónicas de la música proceden del interior del aparato como resultado de interacciones extraordinariamente complejas que tienen lugar entre las diferentes piezas. Y si, después de un estudio y un análisis detallados, construyese una réplica que reprodujera con exactitud los mismos sonidos que el original, probablemente consideraría ese resultado como una prueba evidente de la adecuación de su teoría. A pesar de su éxito, sin embargo, la persona seguiría ignorando que el origen de la música se halla, en realidad, en una emisora ubicada a centenares de kilómetros de distancia.

Según la hipótesis de la causación formativa, la “transmisión” procedería, siguiendo con nuestra analogía con el aparato de radio, de sistemas similares anteriores y la “recepción” de la señal dependería de la estructura y la organización detalladas del sistema receptor. Como sucede en el caso de un aparato de radio, hay dos tipos de cambio en la organización del “receptor” que resultan muy significativos.

En primer lugar, los cambios que tienen lugar en la etapa de “sintonía” del aparato pueden dar lugar a la recepción de “transmisiones” mórficas completamente diferentes. Y, del mismo modo que un aparato de radio puede sintonizar distintas emisoras, un sistema en desarrollo también podría “sintonizar” con diferentes campos morfogenéticos.

Los cambios, en segundo lugar, que ocurren en el interior de un aparato de radio que sintoniza una determinada emisora pueden modificar y distorsionar también el sonido que sale del altavoz. Del mismo modo, los cambios que ocurren en el interior de un sistema que se halla en proceso de desarrollo pueden dar lugar a modificaciones y distorsiones en la forma final del organismo.

Dos son, por tanto, las formas en que los factores ambientales y los factores genéticos pueden modificar, en los organismos que se hallan en proceso de desarrollo, la morfogénesis: cambiando la "sintonía" de los gérmenes morfogenéticos o modificando las vías usuales de morfogénesis de modo. Y, en ambos casos, se producen variaciones en la forma final normal.

7.2. MODIFICACIÓN DE LOS GÉRMENES MORFOGENÉTICOS

Los gérmenes morfogenéticos para el desarrollo de órganos y tejidos están constituidos por células o grupos de células con estructuras y pautas de oscilación características (véanse secciones 4.5 y 6.1). Si, como resultado de condiciones medioambientales inusuales o de alteraciones genéticas, se modifica la estructura y la pauta de oscilación de un germen, éste dejaría de estar asociado a su campo habitual supraordenado, llegando incluso a dejar de actuar como germen, en cuyo caso faltaría, en el organismo, una estructura entera o se asociaría a un campo morfogenético distinto, que provocaría el desarrollo de una estructura que habitualmente no se encuentra en esta parte del organismo. Las mutaciones que provocan este tipo de cambios se denominan homeóticas.

Son muchos los ejemplos que se han mencionado de pér-

dida de una estructura entera o de sustitución de una estructura por otra. Y hay ocasiones, como veremos más adelante, en las que los mismos cambios pueden producirse debido a factores genéticos y a cambios en el entorno del organismo que se encuentra en proceso de desarrollo.

Varios efectos de este tipo se han estudiado detenidamente en el caso de la *Drosophila*, la mosca del vinagre. Distintas mutaciones homeóticas provocan transformaciones en regiones enteras de la mosca como, por ejemplo, la “antennapedia”, que convierte las antenas en patas, y las mutaciones asociadas al complejo génico “bitórax”, que hacen que el segmento metatorácico, que habitualmente presenta dos halterios, se desarrolle como si de un segmento mesotorácico se tratara (figura 17), con lo que los organismos resultantes presentan dos pares de alas en segmentos adyacentes.¹

Las mutaciones homeóticas también aparecen en las plantas. Las hojas del guisante, por ejemplo, suelen presentar folíolos en la base y zarcillos en la parte superior. Pero, en algunas hojas, se forman zarcillos frente a los folíolos, lo que indica que ciertos primordios similares son capaces de dar lugar a ambos tipos de estructura (figura 18). Es posible, desde esta perspectiva, que las células de estos primordios se vean influidos por factores procedentes del interior de la hoja embrionaria que lleva a asumir a dichas células la estructura y pauta de oscilación característica del germen morfogenético de un zarcillo o un folioso. En un determinado tipo de mutante homeótico, sin embargo, la formación de zarcillos se ve suprimida y todos los primordios dan lugar a folíolos, mientras que otro mutante (debido a un gen de un cromosoma diferente) es incapaz de producir folíolos y todos los primordios acaban dando lugar a zarcillos (figura 18).²

Los genes homeóticos codifican factores de transcripción, que son proteínas ligadas a determinadas partes del ADN que

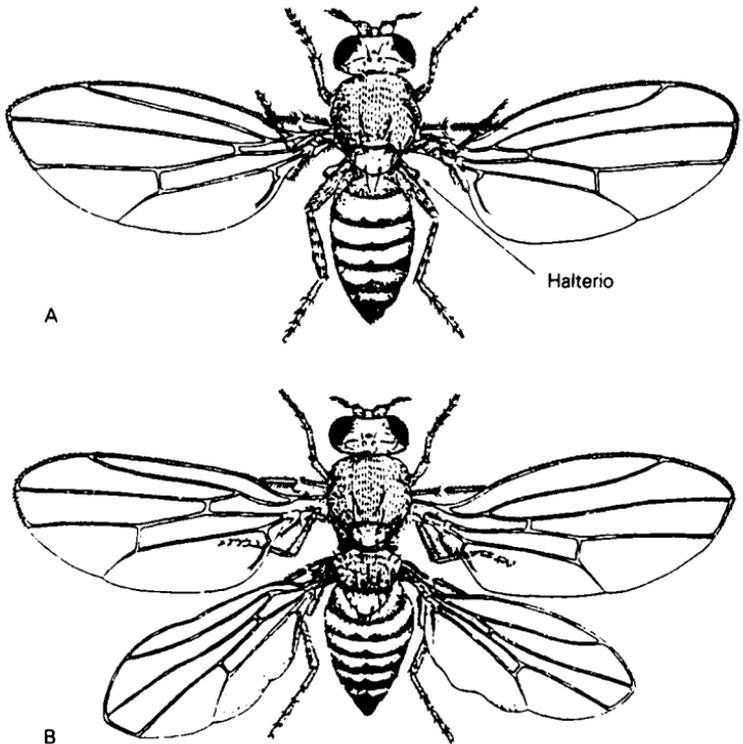


FIGURA 17. Individuo normal de la mosca del vinagre *Drosophila* (A) y mosca mutante (B), en la que el tercer segmento torácico se ha transformado de un modo que se asemeja al segundo segmento torácico. En consecuencia, la mosca tiene dos pares de alas en lugar de uno.

afectan a la actividad de otros genes. Las pautas de actividad genética que controlan afectan a todo el camino de la morfogénesis. Estas pautas de actividad genética operan, en lo que respecta a la hipótesis de la causación formativa, influyendo en los gérmenes morfogenéticos y afectando a su sintonía con determinados campos morfogenéticos. Son muchas

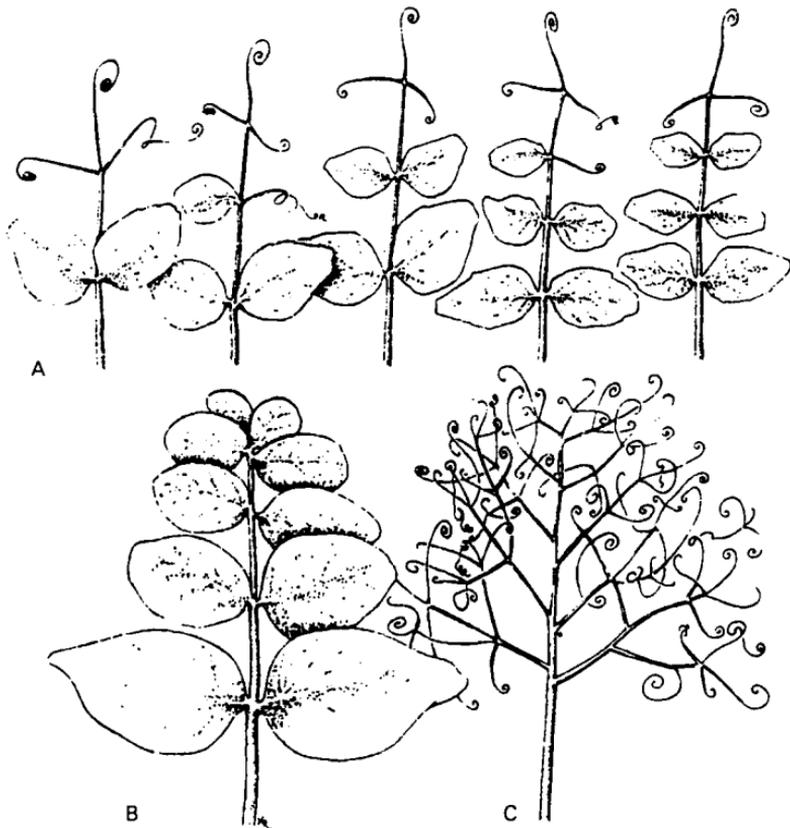


FIGURA 18. A: hojas de guisante normal, con folíolos y zarcillos. B: hoja de una planta mutante en la que sólo se forman folíolos. C: hoja de una planta mutante en la que sólo se forman zarcillos.

las formas en que puede llevarse a cabo esta influencia codificando, por ejemplo, una proteína que modifica las propiedades de las membranas celulares, afectando a las propiedades de las membranas, las estructuras o pautas de actividad de las células del germen morfogenético, de modo que deje de resonar con el campo morfogenético usual, pero sintonice con

otro diferente. Esto se asemeja a cambiar el circuito de sintonía de un televisor: una "mutación" en un transistor o en un condensador de este circuito podría llevar al televisor a conectar con un canal diferente o a perder la capacidad de conectar con cualquier canal. Digamos también incidentalmente que resulta curioso que, en el campo de la biología evolutiva del desarrollo, estos genes homeóticos se conozcan a menudo con el nombre de "genes selectores concretos de campo".³

7.3. VÍAS ALTERADAS DE LA MORFOGÉNESIS

Mientras que los factores que afectan a los gérmenes morfo-genéticos ejercen un efecto *cualitativo* sobre la morfogénesis, provocando la ausencia de una estructura o el reemplazo de una estructura por otra, muchos factores ambientales y genéticos provocan modificaciones *cuantitativas* en la forma final de las estructuras a través de su efecto sobre el proceso de morfogénesis. En el caso de las plantas de una determinada variedad cultivada en condiciones ambientales diferentes, la forma global del sistema de las ramas y las raíces, la morfología de las hojas y hasta la anatomía de varios órganos presentan rasgos distintivos, aunque la forma característica de la variedad sigue siendo reconocible. O, cuando diferentes variedades de la misma especie se ven cultivadas en el mismo medio, las plantas difieren entre sí en muchos aspectos, aunque son variantes reconocibles de una forma característica.

Los factores genéticos y ambientales influyen sobre el desarrollo a través de diferentes efectos cuantitativos sobre los componentes estructurales, la actividad enzimática, las hormonas, etc. (véase sección 7.1). Y, aunque algunas de estas influencias sean relativamente inespecíficas y afecten a diferentes vías de morfogénesis, otras pueden alterar el curso nor-

mal de desarrollo por más que su efecto, debido a procesos de regulación, se vea limitado.

Aunque determinados efectos genéticos puedan atribuirse a ciertos genes, la mayoría dependen de la influencia combinada de varios de ellos, cuyos efectos individuales son pequeños y difíciles de identificar y analizar.

Según la hipótesis de la causación formativa, los organismos de la misma variedad o raza no se parecen tan sólo por ser genéticamente similares y hallarse, en consecuencia, sometidos a influencias similares durante el proceso de morfogénesis, sino también porque sus creodas características se ven reforzadas y estabilizadas por resonancia mórfica con organismos anteriores pertenecientes a la misma variedad.

Los campos morfogenéticos de una especie no son fijos, sino que van modificándose en la medida en que la especie evoluciona. Los tipos morfológicos más comunes, que también son los que se desarrollan en las condiciones ambientales más frecuentes, ejercen una mayor contribución estadística a las estructuras de probabilidad de los campos morfogenéticos. En los casos más sencillos, el efecto de promediado automático de la resonancia mórfica estabilizará los campos morfogenéticos en torno a una forma única más probable o "tipo salvaje". Pero, si la especie vive en dos o más entornos geográfica o ecológicamente diferentes en los que se han desarrollado variedades o razas características, los campos morfogenéticos de la especie no contendrán una única forma más probable, sino una distribución "multimodal" de formas, en función del número de variedades o razas morfológicamente distintas y del tamaño relativo de sus poblaciones anteriores.

7.4. DOMINANCIA

No parece, a primera vista, que la idea de que las formas de las diferentes variedades se establezcan por resonancia mórfica con los organismos anteriores de la misma variedad añada gran cosa a la explicación convencional de la semejanza genética. Pero su importancia, no obstante, se pone claramente de manifiesto al considerar organismos híbridos que resuenan mórficamente con dos tipos parentales diferentes.

Volvamos, para ilustrar este punto, a la analogía de la radio. En circunstancias normales, el aparato “sintoniza” únicamente con organismos pasados similares de la misma variedad. En el caso, sin embargo de que la radio sintonice simultáneamente con dos emisoras diferentes, el sonido final emitido dependerá de la intensidad relativa de ambas señales. Si una de ellas es muy fuerte y la otra muy débil, el efecto de esta última será difícil de advertir, pero, cuando ambas tienen una intensidad similar, el sonido producido por el aparato combinará los sonidos procedentes de ambas fuentes. Del mismo modo, en el caso de un híbrido producido por entrecruzamiento de dos variedades, la presencia de genes y productos genéticos propios de ambas variedades llevará al organismo a resonar mórficamente con organismos pasados procedentes de ambas modalidades parentales. De este modo, las estructuras de probabilidad globales de los campos morfogenéticos del híbrido dependerán de la fortaleza relativa de la resonancia mórfica de ambos tipos parentales. Si ambos progenitores proceden de variedades representadas por un número semejante de individuos pasados, el peso relativo de su influencia sobre la morfogénesis será semejante, produciendo una combinación o “resultante” equiparable de las dos formas parentales (figura 19 A). Pero, si el número de individuos que representan a una variedad es superior al de la otra,

su contribución relativa en la estructura de probabilidad global tenderá a predominar (figura 19 B). Y, en el caso de que uno de los progenitores proceda de una línea mutante de origen reciente, la resonancia mórfica del menor número de individuos de esta variedad tendrá una contribución insignificante sobre la estructura de probabilidad de los híbridos (figura 19 C).

Estas expectativas coinciden con los datos que, al respecto, nos proporciona la realidad. En primer lugar, la estructura resultante de los híbridos procedentes del entrecruzamiento de variedades o especies bien establecidas suele combinar rasgos formales de ambos o producir una forma intermedia. En segundo lugar, en aquellos híbridos que resultan del cruce entre una variedad relativamente reciente y otra bien establecida, los rasgos de esta última suelen ser dominantes. Y, en tercer lugar, las mutaciones recientes que afectan a los caracteres morfológicos son casi siempre recesivos.

Las teorías mecanicistas de la dominancia son significativamente imprecisas y especulativas, salvo en el caso de aquellos rasgos que dependan más o menos directamente

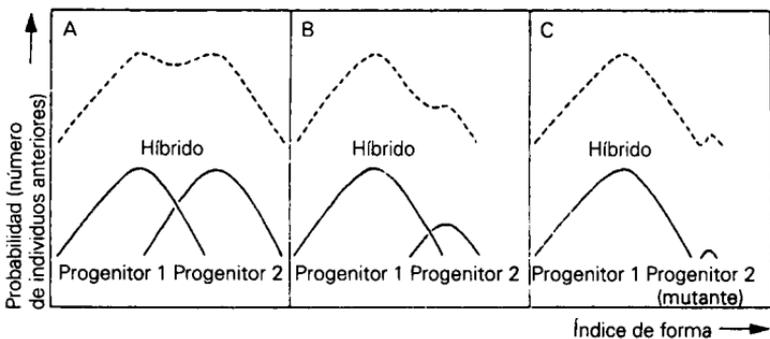


FIGURA 19. Representación esquemática de las estructuras de probabilidad de los campos morfogenéticos de los progenitores y de los híbridos.

de determinadas proteínas. Si un gen mutante provoca la pérdida de una determinada función dando lugar, por ejemplo, a una enzima defectuosa, será recesivo porque, en el caso de los híbridos, la presencia de un gen normal permite la producción de la enzima normal y posibilita, en consecuencia, la reacción bioquímica normal. En aquellos casos, sin embargo, en los que el gen defectuoso pueda resultar dañino interfiriendo, por ejemplo, con la permeabilidad de las membranas, la mutación, tenderá a ser simultáneamente dominante y letal.

Estas explicaciones resultan satisfactorias en la medida en que funcionan, pero, en ausencia de cualquier comprensión mecanicista de la morfogénesis, todo intento de explicar la dominancia en la herencia de la forma mediante una extrapolación procedente del nivel molecular incurrirá de forma inevitable en un error.

Las teorías genéticas convencionales sobre la dominancia son más sofisticadas que la estrictamente bioquímica y subrayan que la dominancia no es algo fijo, sino que evoluciona.⁴ Con el fin de explicar la uniformidad relativa de las poblaciones en estado natural, en donde la mayoría de las mutaciones no letales son recesivas, dichas teorías asumen que la selección natural favorece la dominancia del "tipo salvaje". Una teoría postula la selección de genes que modifican la dominancia de otros genes,⁵ mientras que otra defiende la selección de versiones cada vez más eficaces de genes que controlan los caracteres dominantes en cuestión.⁶ Pero, si dejamos de lado el hecho de que hay pocas pruebas en favor de una de estas teorías y bastantes pruebas en contra de ambas, deberíamos señalar que, en lugar de explicar la dominancia, ambas teorías la dan simplemente por sentada y sólo esbozan posibles mecanismos que mantienen o aumentan la dominancia.⁷

Según la hipótesis de la causación formativa, la dominancia evolucionaría por una razón fundamentalmente diferente. Los tipos favorecidos por la selección natural se verían representados por un mayor número de individuos que aquellos otros que tuvieran un menor valor de supervivencia, razón por la cual, con el paso del tiempo, el efecto acumulativo de la resonancia mórfica de aquéllos los convertiría cada vez en más dominantes.

Es posible distinguir experimentalmente, al menos en principio, esta hipótesis de todas las teorías convencionales de la dominancia. Bajo el influjo, según éstas, de un determinado conjunto de condiciones ambientales, la dominancia depende exclusivamente de la constitución genética del híbrido. Según la teoría de la causación formativa, sin embargo, la dominancia depende *tanto* de la constitución genética de los tipos parentales *como* del efecto de la resonancia mórfica. Por ello, en el momento en que cambia la fortaleza relativa de la resonancia con los tipos parentales, cambia también, aun en el caso de que la constitución genética del híbrido permanezca igual, la dominancia de uno sobre otro.

Consideremos ahora el siguiente experimento. Supongamos que obtenemos semillas híbridas a partir del cruce entre plantas de una variedad bien definida (P_1) y una línea mutante (P_2). Guardemos después algunas de ellas en una cámara frigorífica y sembremos otras en condiciones controladas. Observemos luego cuidadosamente los rasgos característicos de las plantas híbridas. En estas plantas, la morfología de P_1 es dominante (figura 19 C). A continuación plantemos, en el campo, un gran número de semillas de la variedad mutante (P_2). Luego plantemos de nuevo, en las mismas condiciones en que crecieron en el pasado, algunos híbridos procedentes del mismo lote de semillas. Como, en este caso, el peso relativo de la resonancia mórfica de P_2 es ahora superior, es muy

probable que P_1 sólo sea parcialmente dominante (figura 19 B). Es posible que, después de plantar muchas más plantas P_2 , los híbridos asuman una forma intermedia entre ambas modalidades parentales (figura 19 A). Luego plantamos una gran cantidad de ejemplares del tipo P_2 y posteriormente volvemos a plantar los híbridos en las mismas condiciones que los anteriores procedentes del mismo lote de semillas. Ahora la contribución, por resonancia mórfica, de la variedad P_2 será dominante y también lo será, en consecuencia, su morfología.

Este resultado, completamente incomprensible desde la perspectiva de la teoría genética ortodoxa, respaldaría la explicación de la dominancia proporcionada por la hipótesis de la resonancia mórfica. El único problema en tal caso es que resulta difícil de llevar a la práctica, puesto que, si P_1 es una variedad establecida que existe desde hace mucho tiempo —las variedades salvajes suelen tener miles o incluso millones de años—, resulta imposible plantar una cantidad semejante de plantas del tipo P_2 . El experimento sólo sería factible si P_1 fuese una variedad reciente de la que, en el pasado, sólo hubiesen crecido unos pocos individuos.

7.5. SEMEJANZAS FAMILIARES

Son muchos los rasgos secundarios en los que difieren los organismos de la misma variedad. En el caso de una población cruzada, cada individuo es genéticamente más o menos único y tiende a seguir, en consecuencia, bajo las diferentes influencias cuantitativas de sus genes, su propia vía de desarrollo. Y como la morfogénesis, además, depende del efecto de las estructuras de probabilidad sobre los eventos probabilísticos, el proceso en su conjunto se halla, en cierto sentido, indeterminado. Y los entornos locales también varían. Como

resultado de todos estos factores, cada individuo presenta una forma característica y contribuye de manera peculiar a los campos morfogenéticos posteriores.

Es muy probable que la resonancia mórfica más concreta que actúa sobre un determinado organismo sea la que procede de individuos anteriores con los que se halla estrechamente emparentado y con los que comparte una constitución genética parecida, lo que explica el parecido familiar. Esta resonancia mórfica concreta se superpone a la resonancia mórfica inespecífica de numerosos individuos anteriores de la misma variedad que, a su vez, se superpone a la resonancia mórfica general de todos los miembros anteriores de la misma especie.

En el modelo de valles de una creoda (véase figura 5), las resonancias mórficas más específicas, que determinan el curso detallado de la morfogénesis, se corresponden con el cauce del río, mientras que las resonancias mórficas generales de los individuos anteriores de la misma variedad se ven representadas por el fondo del valle. Las diferentes creodas correspondientes a distintas variedades de la misma especie se representan, por último, por los pequeños vallecillos divergentes o paralelos de un valle mayor que representaría la creoda de toda la especie.

7.6. LA INFLUENCIA DEL ENTORNO Y LA RESONANCIA MÓRFICA

La forma de los organismos se ve influida, en distinta medida, por las condiciones medioambientales en que se desarrollan. Y, según la hipótesis de la causación formativa, dependen también de las condiciones medioambientales en las que se desarrollaron organismos anteriores similares, porque las formas de esos organismos contribuyen, por resonancia mórfica,

fica, a sus campos morfogenéticos. Si apelamos de nuevo a la analogía proporcionada por la radio, la música que sale del altavoz no sólo depende de los cambios que ocurren en el interior del receptor, sino de los cambios que tienen lugar también en la emisora. Si, por ejemplo, una orquesta empieza a tocar una pieza musical diferente, el sonido emitido será distinto, aun sin haber cambiado la sintonía y manteniendo idéntica la estructura interna del aparato.

Consideremos, por ejemplo, una nueva variedad de una especie cultivada. Si plantamos una gran cantidad de plantas de dicha variedad en un entorno y unas pocas en otro, la contribución de aquéllas a las estructuras de probabilidad de los campos morfogenéticos de la variedad acabará siendo mayor, según la hipótesis de la resonancia mórfica, que la de éstas. Su forma será entonces la más probable de la variedad y tenderá a ejercer una influencia, independientemente del hecho de que se planten en entornos diferentes, sobre la morfogénesis de todas las plantas posteriores de la misma variedad.

Quizás convendría, para demostrar esta predicción, utilizar una nueva variedad de una especie autopolinizada. En tal caso, la semejanza genética de las plantas sería muy elevada y no habría peligro de que se cruzasen con otras variedades. Comenzaríamos plantando unas pocas plantas en dos medios, X e Y, muy diferentes y tomaríamos luego detallada nota de todas sus características morfológicas. Luego guardaríamos algunas semillas del lote original en una cámara frigorífica. Después plantaríamos un gran número de plantas en el entorno Y (en la misma estación o a lo largo de varias generaciones) y, posteriormente, volveríamos a plantar algunas de las semillas originales conservadas en la cámara frigorífica, en el medio X. Según la hipótesis, su morfogénesis se vería ahora influida, por resonancia mórfica, por el gran número de plantas genéticamente similares en el medio Y. En consecuencia,

su forma se asemejaría más a la de las plantas Y que a la de las X originales. Conviene señalar también en este punto que, para que la comparación de los individuos plantados en diferentes ocasiones en X fuese válida, deberíamos asegurarnos de que las condiciones del entorno fuesen casi idénticas, algo que, si bien resulta imposible en el campo, puede lograrse con relativa facilidad en un medio artificialmente controlado en un fitotrón [dispositivo utilizado para estudiar las plantas en distintas condiciones ambientales estrictamente controladas].

La obtención de estos resultados sería inexplicable en términos de las teorías convencionales y constituiría una prueba evidente de la hipótesis de la causación formativa.

7.7. LA HERENCIA DE LOS CARACTERES ADQUIRIDOS

La influencia que los organismos anteriores ejercen, por resonancia mórfica, sobre organismos similares subsiguientes podría dar lugar a efectos inconcebibles si la herencia dependiera exclusivamente de la transferencia de genes y otras estructuras materiales de los progenitores a su descendencia. Esta posibilidad arroja una nueva luz sobre el conocido tema de la “herencia de los caracteres adquiridos”.

En la intensa controversia que tuvo lugar, entre finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, los lamarckianos, por una parte, y los seguidores de Weismann y Mendel, por la otra, asumieron que la herencia sólo dependía del plasma germinal, en general, o de los genes, en particular. Para heredar, por tanto, caracteres adquiridos por organismos en respuesta al medio, el plasma germinal o los genes debían experimentar modificaciones concretas. Los antilamarckianos afirmaban que esas modificaciones eran, si no imposibles, sumamente

improbables, mientras que los lamarckianos, por su parte, fueron incapaces de sugerir algún mecanismo que pudiera explicar de un modo plausible esos cambios.

La teoría lamarckiana parecía proporcionar, por otra parte, una explicación a las adaptaciones hereditarias presentes en el mundo animal y vegetal. Es fácil entender, por ejemplo, que las callosidades de las rodillas de los camellos son una respuesta a la abrasión de la piel que tiene lugar cuando el camello se arrodilla. Pero lo cierto es que los camellos nacen con ese tipo de callosidades, un dato que tendría sentido si los caracteres adquiridos fuesen, de algún modo, hereditarios.

Pero los mendelianos, sin embargo, se niegan a admitir tal posibilidad y ofrecen, en su lugar, una interpretación alternativa en términos de mutaciones azarosas. Desde esa perspectiva, si los organismos que presentan el rasgo adquirido en cuestión se ven favorecidos por la selección natural, las mutaciones azarosas que producen esas mismas características se verán favorecidas, sin necesidad de adquirirlas, mediante la selección natural, con lo cual ese rasgo acabará convirtiéndose en hereditario. Esta hipotética simulación de la herencia de los caracteres adquiridos se denomina, en ocasiones, efecto Baldwin, en honor al teórico evolucionista que la sugirió por vez primera.⁸

A comienzos del siglo xx, decenas de científicos afirmaron haber demostrado la presencia, en especies de animales y plantas diferentes, de la herencia de los caracteres adquiridos.⁹ Los antilamarckianos replicaron entonces con ejemplos en sentido contrario, aduciendo una y otra vez al conocido experimento de Weismann, que cortó la cola a veintidós generaciones sucesivas de ratones sin lograr, por ello, que su descendencia acabase naciendo sin cola. Otro argumento en el mismo sentido llamaba la atención sobre el hecho de que,

después de generaciones y generaciones de circuncisión, los judíos siguen naciendo con prepucio.

Después del suicidio, en 1926, de P. Kammerer, uno de los lamarckianos más importantes, el mendelismo acabó convirtiéndose, en el mundo occidental, en la ortodoxia indiscutible.¹⁰ Mientras tanto, en la Unión Soviética, los defensores de la hipótesis de la herencia de los caracteres adquiridos, encabezados por Trofim Lysenko, se hicieron con el control, en la década de 1930, del *establishment* biológico, que dominaron hasta 1964. Durante este período, muchos de sus oponentes mendelianos se vieron cruelmente perseguidos,¹¹ provocando una polarización causante, en ambos bandos, de una intensificación del encarnizamiento y el dogmatismo.

Hoy en día, sin embargo, existen pruebas de que los caracteres adquiridos pueden, en realidad, ser adquiridos. El problema, en la actualidad, es un problema de interpretación. El tabú en contra de este tipo de herencia empezó a desvanecerse, dentro del ámbito de la biología institucional, durante la década de 1990, cuando tuvo lugar el reconocimiento de la *herencia epigenética*. Pruebas de la herencia de los caracteres adquiridos que, hasta ese momento, se habían visto rechazadas o ignoradas, se vieron entonces aceptadas.¹² Hoy en día se admite la presencia de cambios en la configuración de la cromatina —el complejo proteico de ADN que configura la estructura de los cromosomas— que han atravesado las divisiones celulares de una célula a la célula hija. Cuando esos cambios pasan al huevo o el esperma, se heredan. Dicho en otras palabras, la actividad genética puede ser herencia modificada sin mutación. Otro tipo de cambio epigenético, llamado, en ocasiones, “impronta genómica”, implica la metilación de las moléculas de ADN. Y aunque en este tipo de herencia epigenética exista un cambio químico en la herencia, los genes subyacentes siguen siendo los mismos. Un tercer tipo de he-

rencia epigenética gira en torno a alteraciones del citoplasma que se heredan a través de las células huevo y, en consecuencia, de la madre.

El complemento de la hipótesis de la causación formativa permite una herencia de caracteres adquiridos a través de la resonancia mórfica sin necesidad, para ello, de cambio genético ni de herencia epigenética. Esto complementa, en lugar de contradecir, ambos tipos de herencia y, como veremos más adelante, puede distinguirse de ella a través de la experimentación.

Las vías morfogenéticas que se han visto modificadas por factores ambientales o genéticos tienden, hablando en términos generales, a encauzar y estabilizar, por resonancia mórfica, procesos similares de morfogénesis en organismos parecidos posteriores. La intensidad de esta influencia dependerá de la especificidad de la resonancia y del número de organismos similares anteriores cuya morfogénesis se haya visto alterada. Este número tenderá a ser grande si las alteraciones se ven favorecidas por la selección natural o artificial y pequeño en caso contrario.

La mutilación de estructuras completamente formadas no alteraría su vía de morfogénesis a menos que se regenerasen. Cabe suponer, por tanto, que la mutilación de estructuras no regenerativas no ejerce ninguna influencia, debida a la resonancia mórfica, sobre el desarrollo de organismos posteriores. Esta conclusión coincide con el hecho de que la amputación de la cola en ratones y la circuncisión de los judíos no tienen efectos hereditarios significativos.

7.8. EXPERIMENTOS CON FENOCOPIAS

Durante la década de 1950, C.H. Waddington inició, en su laboratorio de la Universidad de Edimburgo, la que hoy en

día es la línea de investigación más interesante e importante sobre la herencia de los caracteres adquiridos. Para ello estudió las fenocopias de la mosca de la fruta. Recordemos que las fenocopias son organismos cuyas características se asemejan a las producidas como resultado de las mutaciones genéticas, pero que emergen en respuesta a un cambio en el medio. La mosca de la fruta de cuatro alas mostrada en la figura 17 B, por ejemplo, tiene una mutación en el complejo genético "bitórax". Con la exposición durante tres horas de los huevos de la mosca de la fruta normal de dos alas al vapor de éter puede llegar a obtenerse el tipo de moscas de cuatro alas que se conocen con el nombre de moscas bitórax. Este efecto no ocurre debido al hecho de que el vapor de éter induzca mutaciones concretas en el ADN, sino porque interrumpe la pauta normal de desarrollo, un desarrollo anormal similar al que tiene lugar durante la exposición del feto humano a la talidomida.

Waddington descubrió que la exposición, generación tras generación, de huevos de moscas de la fruta al vapor de éter aumentaba la proporción de moscas bitórax y la frecuencia de aparición, en consecuencia, de las fenocopias. Al cabo de veintinueve generaciones, algunas de las descendientes de esas moscas mostraban ya, sin haberse visto expuestas al éter, el rasgo bitórax, un fenómeno que Waddington acabó denominando "asimilación genética". De este modo, un rasgo que se había adquirido en respuesta a un entorno cambiante acabó convirtiéndose en hereditario.¹³ En palabras del mismo Waddington: «Todos estos experimentos demuestran que, si la selección tiene lugar por la aparición de un carácter adquirido en un determinado entorno anormal, es más probable que las cepas seleccionadas resultantes exhiban esos rasgos, aunque se vean nuevamente transferidos al entorno normal».¹⁴

Waddington consideraba incluso que alguna influencia física o química de las estructuras alteradas de las moscas anormales podría haber inducido modificaciones hereditarias en sus genes,¹⁵ pero como, según las doctrinas de la biología molecular, se trataba de un mecanismo sumamente improbable, acabó rechazando esa posibilidad.¹⁶ Su interpretación final subrayaba tanto el papel de la selección para que el potencial genético respondiera al estrés del entorno desarrollando características anormales, como el de la “canalización del desarrollo”, implicada en la modificación de la morfogénesis. «Podríamos decir, utilizando un lenguaje algo pintoresco, que la selección no sólo rebaja el umbral, sino que también determina la dirección en que avanzará, una vez superado el umbral.»¹⁷ Waddington también acuñó el término *creoda* para expresar la noción de desarrollo encauzado y dirigido. Él pensaba que la determinación de la dirección tomada por una creoda en términos de su “sintonía”. Pero no explicaba el modo en que tenía lugar esta canalización y “sintonía”, aparte de hacer la vaga sugerencia de que, de algún modo, dependía de la selección de los genes.¹⁸

La hipótesis de la causación formativa complementa la interpretación de Waddington: las creodas y formas finales hacia las que se dirigen dependen de la resonancia mórfica con organismos similares anteriores; la herencia de caracteres adquiridos del tipo de los estudiados por Waddington depende *tanto* de la selección genética *como* de la influencia directa por resonancia mórfica de organismos cuyo desarrollo se vio modificado en respuesta a un entorno anormal. La herencia epigenética también puede desempeñar, en este sentido, un papel muy importante.

Mae-wan Ho y sus colegas de la Universidad de Gran Bretaña replicaron, durante la década de 1980, los experimentos de Waddington.¹⁹ Y, al igual que él, descubrieron que exponer

huevo de mosca de la fruta a vapores de éter generación tras generación acababa conduciendo a un aumento en la proporción de moscas bitórax.²⁰ Después de diez generaciones, algunas de las moscas procedentes de huevos que no se habían visto expuestos al éter eran bitórax y lo mismo sucedía con sus descendientes, de nuevo sin tratamiento. Cuantas más moscas se habían desarrollado anormalmente, más probable era la presencia de las fenocopias bitórax.

Ho y sus colegas descubrieron que estos efectos también ocurrían en una cepa endogámica de moscas de la fruta con poca variabilidad genética, lo que no podía explicarse plausiblemente en función de la selección genética. Los resultados parecían anormales durante la década de 1980, pero ahora que la herencia epigenética se ve ampliamente reconocida pueden reinterpretarse en términos de modificaciones epigenéticas.

El descubrimiento más notable fue que después de haber tratado con éter a las moscas experimentales durante seis generaciones, las moscas de control, cuyos progenitores no se habían visto expuestos, reaccionaron más fuertemente al mismo tratamiento de éter. El 10% de la progenie perteneciente a la primera generación era bitórax y ese valor alcanzó, durante la segunda generación, el 20% (resultados que contrastan profundamente con el 2 y 5% de la primera y segunda generación de la línea experimental). Las fenocopias, dicho en otras palabras, eran más frecuentes después de que moscas similares hubiesen desarrollado ya la fenocopia bitórax, un resultado que concordaba con la hipótesis de la resonancia mórfica, pero no podría esperarse en el caso de ninguna otra hipótesis, ni siquiera la herencia epigenética.

Según la hipótesis de la causación formativa después de que, en respuesta a un estrés medioambiental, un gran número de organismos se hayan desarrollado anormalmente, aumenta la frecuencia de que, aunque se hallen a miles de

kilómetros de distancia, otros organismos parecidos lo logren también.

Convendría, en el diseño de nuevos experimentos destinados a corroborar la resonancia mórfica en las moscas de la fruta, utilizar un par de líneas. En una de ellas, E, las moscas podrían descender de progenitores sometidos a una situación estresante, mientras que en la otra, F, podrían descender de progenitores no estresados (figura 20). La presencia del fenómeno de resonancia mórfica supondría un aumento en la frecuencia de las fenocopias en ambas líneas, pero su efecto sería todavía más acusado en la línea F, debido a la herencia epigenética y al aumento de resonancia mórfica por la mayor similitud que confiere la herencia epigenética.

Hay mucho espacio para la investigación de las fenocopias y todavía quedan, al respecto, muchas cosas por descubrir. Durante la década de 1930, Richard Goldschmidt, uno de los genetistas más brillantes de su generación, descubrió que, en las moscas de la fruta, «es posible producir casi cualquier tipo conocido de mutantes como fenocopia por la acción de diferentes grados de choque de calor durante la fase de crisálida».²¹ Además de su trabajo sobre los efectos del éter, Waddington siguió las observaciones de Goldschmidt estudiando el efecto del choque de calor sobre la crisálida de la mosca de la fruta sobre el desarrollo de las venas de las alas. Así fue como descubrió que la exposición, durante veintidós horas, de crisálidas a una temperatura de 40 °C llevaba a algunas de ellas a desarrollar fenocopias “sin venas en las alas”. La proporción de esas fenocopias aumentó en las generaciones posteriores hasta el punto de que, pasadas quince generaciones, más del 90% de las moscas tenían alas sin venas. Y, a partir de la decimocuarta generación, algunas de las crisálidas no tratadas empezaron también a presentar alas sin venas.²²

Las fenocopias aparecen en muchos otros animales, in-

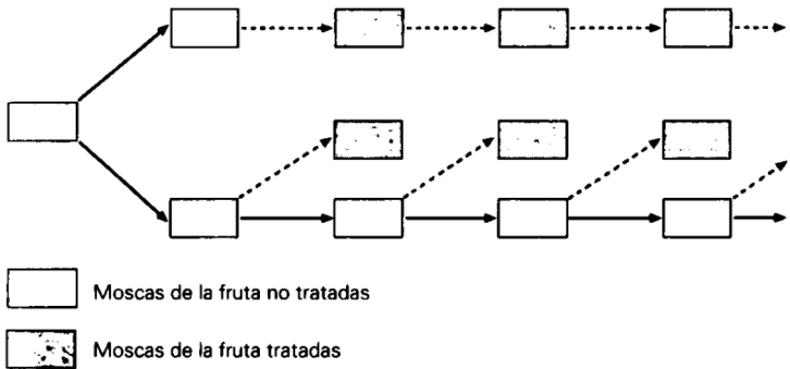


FIGURA 20. Representación esquemática de un experimento con una cepa endogámica de la mosca de la fruta comparando el efecto del tratamiento con éter de los huevos (líneas discontinuas) en sucesivas generaciones de moscas descendientes de progenitores tratados con éter (arriba) con la línea de control (abajo). El aumento en la proporción de fenocopias en sucesivas generaciones de la línea de control indicaría un efecto de resonancia mórfica. Un aumento en la línea experimental, con moscas descendientes de progenitores tratados con éter, podría deberse a una combinación entre los efectos de la resonancia mórfica y la herencia epigenética.

cluidas las mariposas. Las pautas de las alas de las mariposas son especialmente susceptibles a los choques de calor o de frío. La exposición de la crisálida de la *Vanessa urticae* europea a bajas temperaturas da lugar por ejemplo, en algunos adultos, a alas con un dibujo indistinguible del que adorna las alas de la *Vanessa polaris*, que se encuentra en Laponia.²³ Son muchas también las plantas, incluidas las algas y las hepáticas que, en respuesta a cambios físicos o químicos de su entorno, forman fenocopias.²⁴

Las fenocopias tienen, en sí mismas, un gran interés y nos proporcionan una oportunidad extraordinaria para investigar el papel desempeñado, en la morfogénesis, por la resonancia mórfica.

8. LA EVOLUCIÓN DE LAS FORMAS BIOLÓGICAS

8.1. LA TEORÍA NEODARWINIANA DE LA EVOLUCIÓN

Son muchas las cosas que ignoramos sobre los detalles de la evolución pasada y tampoco estamos en condiciones de advertir fácilmente la evolución presente. La aparición de una nueva especie, por no decir de géneros, familias y órdenes nuevos, es, aun en el caso de que la contemplemos sobre el trasfondo de una escala temporal medida en millones de años, muy rara. Los cambios evolutivos que, al respecto, han podido observarse se limitan al desarrollo de nuevas variedades o razas dentro de especies ya establecidas. Los ejemplos mejor documentados al respecto hacen referencia a la aparición de varias razas de polillas nocturnas europeas de color oscuro en regiones en las que la contaminación industrial provoca el oscurecimiento de las superficies sobre las que suelen posarse. Según se dice, las mutantes oscuras se ven favorecidas por la selección natural porque, al estar mejor camufladas, se hallan menos expuestas a la predación aviaria. Pero aun el caso de manual de la polilla moteada resulta cuestionable, porque la evidencia citada incluye fotografías vagas y experimentos defectuosos.¹

Con tan escasas pruebas y tan poca posibilidad de llevar a cabo experimentos al respecto, cualquier interpretación de

los mecanismos de la evolución es necesariamente especulativa. Y es que, en ausencia de datos concretos, uno acaba condenado a dar vueltas y más vueltas en torno a los supuestos de partida relativos a la naturaleza de la herencia y las fuentes de la variabilidad hereditaria.

La interpretación mecanicista ortodoxa viene dada por la teoría neodarwiniana, cuya diferencia de la teoría darwiniana gira básicamente en torno a un par de aspectos. En primer lugar, asume que la herencia puede explicarse en términos de genes y cromosomas y, en segundo lugar, que el origen último de la variabilidad hereditaria depende de la mutación azarosa del material genético. Veamos a continuación un resumen de los principales rasgos asumidos por esta teoría:

I. Las mutaciones se producen al azar.

II. La selección natural tiende a eliminar los genes mutantes que tienen efectos dañinos. Entre los agentes de la selección, cabe destacar los predadores, los parásitos, las enfermedades infecciosas, la competición por el espacio, el alimento, etc., las condiciones climáticas y microclimáticas y la selección sexual.

III. Los genes se recombinan a través de la reproducción sexual, el "entrecruzamiento" de cromosomas y cambios en la estructura cromosómica. Estos procesos producen nuevas permutaciones de genes que pueden dar lugar a nuevos efectos.

IV. La expansión de una mutación favorable es probablemente más rápida en pequeñas poblaciones entrecruzadas que en grandes poblaciones endogámicas. En poblaciones de tamaño pequeño o mediano que experimentan grandes fluctuaciones, los genes mutantes pueden perderse o conservarse al

azar por “deriva genética”, más que como resultado de la selección natural.

V. Nuevas presiones de la selección que aparece como resultado de cambios en las condiciones del entorno y en las pautas conductuales del organismo.

VI. Si las poblaciones se ven geográfica o ecológicamente alejadas o si se separan por cualquier otra razón, es probable que experimenten una evolución divergente.

VII. Especialmente en el caso del reino vegetal, pueden aparecer nuevas especies de híbridos interespecíficos por lo general estériles, aunque, en ocasiones, fértiles como resultado de la poliploidia.

Algunos de los rasgos principales de esta teoría neodarwiniana se han visto matemáticamente elaborados por el campo teórico de la genética de poblaciones. En la construcción de modelos matemáticos, suele asumirse, por mor de simplicidad, que los genes se hallan independientemente sujetos a la selección (aunque, a decir verdad, se agrupan en cromosomas e interaccionan, en sus efectos, con otros genes). Asignando, de este modo, un valor numérico a las presiones de selección, las tasas de mutación y el tamaño de la población, podemos calcular los cambios en la frecuencia genética experimentados a lo largo de un determinado número de generaciones. Estos métodos pueden verse expandidos hasta abarcar todos los aspectos de la evolución, asumiendo que los genes individuales o las combinaciones de genes determinan caracteres morfológicos e instintos.²

La mayoría de teóricos neodarwinianos suponen que la evolución divergente bajo la influencia de la selección natu-

ral durante largos períodos de tiempo no sólo conduce al desarrollo de nuevas razas, variedades y subespecies, sino también de nuevas especies, géneros, familias, órdenes y filos.³ Esta interpretación se ha visto cuestionada sobre la base de que las diferencias existentes entre estas divisiones taxonómicas superiores son demasiado grandes como para deberse a una transformación gradual. Tengamos en cuenta que, aparte de cualquier otra cosa, los organismos suelen diferir en el número y estructura de sus cromosomas. Algunos autores han sugerido que los cambios evolutivos a gran escala suelen presentarse súbitamente como resultado de macromutaciones. Animales y plantas monstruosos cuyas estructuras se han visto transformadas, reduplicadas o eliminadas nos proporcionan ejemplos contemporáneos de cambios repentinos de este tipo. Ocasionalmente podría darse el caso, en el curso de la evolución, de la aparición de “monstruos esperanzadores” que sobreviven y se desarrollan.⁴ Un argumento en favor de esta opinión es que, mientras que los cambios graduales bajo la presión de la selección provocan formas con un determinado valor adaptativo (exceptuando quizás el caso de poblaciones pequeñas sometidas a la “deriva genética”), las macromutaciones podrían producir todo tipo de variaciones aparentemente gratuitas a gran escala que sólo se verían suprimidas por selección natural en el caso de ser realmente perjudiciales, contribuyendo, de ese modo, a explicar la gran diversidad de organismos vivos.⁵

Aunque estos autores subrayan la importancia de los grandes cambios repentinos, no discrepan de la creencia ortodoxa de que la evolución, como totalidad, sólo depende de las mutaciones azarosas y de la herencia genética, en combinación con la selección natural.

Algunos críticos más radicales ponen en tela de juicio estos principios básicos, aduciendo que resulta inconcebible que

todas las estructuras adaptativas e instintos de los organismos vivos pueden deberse en exclusiva al azar, aun dando por sentado que la selección natural sólo permite la supervivencia y reproducción de aquellos organismos que se hallan lo suficientemente adaptados. También afirman que algunos ejemplos de evolución paralela y convergente, en los que aparecen, de manera independiente, caracteres morfológicamente muy parecidos en grupos taxonómicos diferentes, indican la presencia de factores desconocidos en la evolución, admitiendo incluso la existencia de presiones paralelas a la selección. Finalmente, hay quienes objetan también la creencia mecanicista explícita o implícita de que la evolución, contemplada en su totalidad, carezca de objetivo.⁶

La negación metafísica de cualquier instancia o propósito creativo en el proceso evolutivo se deriva de la filosofía materialista, con la que el mecanicismo se halla tan estrechamente asociado.⁷ A menos, sin embargo, que nos empeñemos en confundir las cuestiones científicas con las metafísicas no deberíamos, dentro del contexto de la ciencia empírica, considerar la teoría neodarwiniana como un dogma metafísico, sino como una hipótesis científica. Como tal, apenas podemos considerarla una teoría demostrada porque, en el mejor de los casos, sólo nos brinda una interpretación plausible de los procesos evolutivos en función de sus suposiciones sobre la herencia genética y la aleatoriedad de las mutaciones.

La hipótesis de la causación formativa nos permite contemplar la herencia desde una nueva perspectiva, lo que conduce a una interpretación diferente de la evolución. Pero ello no afirma ni niega la metafísica del materialismo (véase sección 8.7).

8.2. MUTACIONES

Si los organismos se desarrollasen, generación tras generación, en el mismo entorno y transmitieran, a su descendencia, idénticos genes y cromosomas, el efecto combinado de la herencia genética y la resonancia mórfica conduciría a una repetición indefinida de las mismas formas. Pero lo cierto es que los organismos experimentan cambios procedentes tanto del interior, debido a mutaciones genéticas, como del exterior, debido a cambios en el medio.

Las mutaciones son cambios accidentales en la estructura de los genes o de los cromosomas, individualmente impredecibles, no sólo en la práctica, sino también en principio, porque dependen de eventos probabilísticos. Los efectos de muchas mutaciones son tan perjudiciales que resultan letales. Pero algunos de los efectos de las mutaciones menos perjudiciales ejercen influencias cuantitativas sobre los caminos de la morfogénesis y dan lugar a versiones diferentes de la forma normal (véase sección 7.3), mientras que otras afectan a los gérmenes morfogenéticos bloqueando o reemplazando vías enteras de la morfogénesis (véase sección 7.2).

En los raros casos en que las mutaciones provocan cambios que se ven favorecidos por la selección natural, no sólo tiende a aumentar la proporción de genes mutantes en la población (de acuerdo con la teoría neodarwiniana), sino que la repetición, en un número cada vez mayor de individuos de las nuevas vías de la morfogénesis, refuerza las nuevas creadas. De este modo, la selección natural no sólo consolida el "patrimonio genético", sino que también modifica el campo morfogenético de la especie.

8.3. LA DIVERGENCIA DE LAS CREODAS

Cuando una mutación o un cambio ambiental modifica una vía normal de la morfogénesis en un estadio relativamente temprano, el sistema puede autorregularse y producir, pese a la transformación experimentada, una forma final normal. Y, si este proceso se repite generación tras generación, la resonancia mórfica termina estabilizando la desviación creódica. Consecuentemente, toda una raza o variedad de especies seguirá una pauta de morfogénesis anormal, aunque acabe conduciendo a la forma adulta habitual.

Son muchos, de hecho, los casos descritos de las llamadas “desviaciones provisionales del desarrollo”. En el caso, por ejemplo, del gusano turbelario *Prorhynchnus stagnitilis*, las células huevo presentan surcos en radiales o en espiral y los embriones en proceso de desarrollo crecen en el interior del huevo o en su superficie. Estas diferencias en los estadios tempranos del desarrollo embrionario explican que el desarrollo de algunos de sus órganos atraviese secuencias diferentes, aunque los adultos normales acaban siendo idénticos. Y, en las especies individuales del gusano anélido *Nereis*, se producen dos tipos muy diferentes de larvas que, no obstante, también abocan a la misma forma adulta.⁸ Y aunque, en algunos de estos casos, las desviaciones provisionales puedan ser adaptativas —para las condiciones de la vida larvaria, por ejemplo—, en la mayoría de ellos se producen, no obstante, sin razón aparente alguna.

Mucho más importante es el significado evolutivo de las divergencias de las creodas que no se ven completamente corregidas por la autorregulación y acaban conduciendo, en consecuencia, a formas finales diferentes. Tales cambios en el camino del desarrollo podrían emerger como resultado de mutaciones (véase, en este sentido, la sección 7.3) o de condiciones medioambientales infrecuentes (véase la sección 7.6).

En el caso de mutaciones que tienen lugar en un entorno estable, los genes mutantes de las formas nuevas que posean una ventaja para la selección aumentarán en frecuencia y la nueva creoda se verá cada vez más reforzada por la resonancia mórfica. En los casos más complejos en los que, como respuesta a circunstancias medioambientales inusuales, aparece una forma diferente que tenga una ventaja selectiva, la nueva creoda se verá también reforzada y, al mismo tiempo, la selección favorecerá a aquellos organismos que tengan la capacidad genética de responder de este modo (como ponen de relieve los experimentos realizados por Waddington con moscas del vinagre de los que hemos hablado en la sección 7.8). Así pues, la combinación entre la selección genética y la resonancia mórfica acabará consolidando la heredabilidad de los caracteres adquiridos.

La acción de presiones diferentes de la selección sobre poblaciones geográfica o ecológicamente aisladas de una especie ha acabado provocando, en condiciones naturales, una divergencia tanto en su “patrimonio genético” como en sus creodas. Incontables especies de animales y plantas han acabado ramificándose en razas y variedades genética y morfológicamente muy diferentes. Los animales domesticados y las plantas cultivadas nos proporcionan ejemplos muy ilustrativos en este sentido.⁹ Pensemos, por ejemplo, en la gran diversidad de razas de perros, que van desde el galgo afgano hasta el pequinés o las variedades de la col, que van desde la *Brassica oleracea* [la col silvestre], la col rizada, el repollo, la col de Bruselas, el brócoli y la coliflor.

Hay algunos casos en los que la divergencia morfológica afecta tan sólo a una estructura o un pequeño grupo de estructuras concretas, mientras que otras permanecen relativamente inafectadas. La mandíbula de los primeros estadios de desarrollo del pequeño pescado *Belone acus*, por ejemplo, se ase-

meja a la de otras especies relacionadas, pero después acaba convirtiéndose en un morro extraordinariamente elongado.¹⁰

Son muchas las exageraciones estructurales que han evolucionado bajo la influencia de la selección natural, como sucede, por ejemplo, con las astas del ciervo. Y las flores no proporcionan también miles de ejemplos del desarrollo divergente partiendo de distintos elementos compositivos, como tan bien ilustran, por ejemplo, las modificaciones de los pétalos de las diferentes especies de orquídeas.

En otros casos, la forma de muchas estructuras diferentes ha cambiado correlativamente. En realidad, la variación uniforme y armoniosa de las formas puede verse comparada gráficamente por la distorsión sistemática de coordenada superpuestas (figura 21), como mostraba sir D'Arcy Thompson en el capítulo de su ensayo *On Growth and Form* titulado «The Theory of Transformation or Comparison of Related Forms».

Este tipo de cambios evolutivos tienen lugar dentro del contexto de campos morfogenéticos existentes. Son ellos los que producen variaciones sobre un determinado tema, aunque no puedan, no obstante, explicarlos. En palabras de Thompson:

«No podemos, mediante una simple y legítima deformación ni por cualquier tipo de reducción a principios elementales, transformar un invertebrado en un vertebrado ni un celentéreo en un gusano [...] La semejanza formal, de la que dependemos como guía fiable a las afinidades de los animales dentro de ciertas relaciones, grados de parentesco o vínculo deja, en determinados casos, de servirnos porque, bajo ciertas circunstancias, sencillamente deja de existir. Nuestras analogías geométricas pesan mucho en contra de la concepción de Darwin de pequeñas e interminables variaciones continuas. Nos ayudan a entender que las variaciones discontinuas son algo natural, que [...] es posible que aparezcan cam-

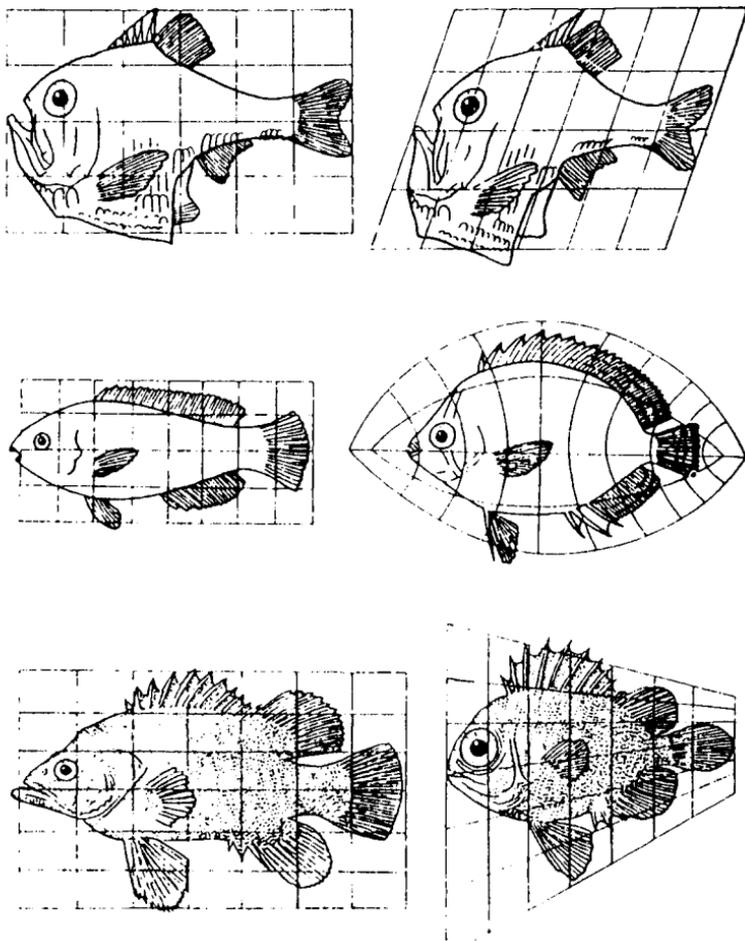


FIGURA 21. Comparación de la forma de distintas especies de peces. (Thompson, 1942. Reproducida por cortesía de la Cambridge University Press).

bios repentinos, mayores o menores, y que, de vez en cuando, surjan nuevos "tipos".»¹¹

8.4. LA SUPRESIÓN DE LAS CREODAS

Mientras que la divergencia de las creodas dentro de campos morfogenéticos existentes permite la variación continua o cuantitativa de la forma, los cambios evolutivos que implican la eliminación de las creodas o el reemplazo de una creoda por otra provocan una discontinuidad cualitativa. Según la hipótesis de la causación formativa, esos efectos están causados por mutaciones homeóticas o factores ambientales que modifican los gérmenes morfogenéticos (véase sección 7.2). La figura 18 ilustra un ejemplo de hojas de guisante mutante en donde los folíolos se han visto sustituidos por zarcillos y, en la figura 17, el lector puede ver un ejemplo de una mutante "bitórax" de la *Drosophila*.

Es probable que, en el curso de la evolución, este tipo de cambios hayan aparecido con cierta asiduidad. En determinadas especies de *acacia*, por ejemplo, las hojas se han visto suprimidas y su papel ha sido adoptado por tallos aplanados. Éste es un proceso que actualmente puede observarse en las plántulas, cuyas primeras hojas son típicamente pinnadas (figura 22). En algunos miembros de la familia de los cactus, las hojas se han visto reemplazadas por espinas. En casi todos los órdenes de insectos, existen especies en las que las alas se han visto suprimidas en ambos sexos (como sucede, por ejemplo, en el caso de ciertas moscas parásitas) o sólo en un sexo (como en el escarabajo hembra conocido como luciérnaga). Y, en el caso de las hormigas, las larvas hembra dan lugar, dependiendo de la composición química de la dieta a la que se ven sometidas, a reinas aladas o a obreras sin alas.

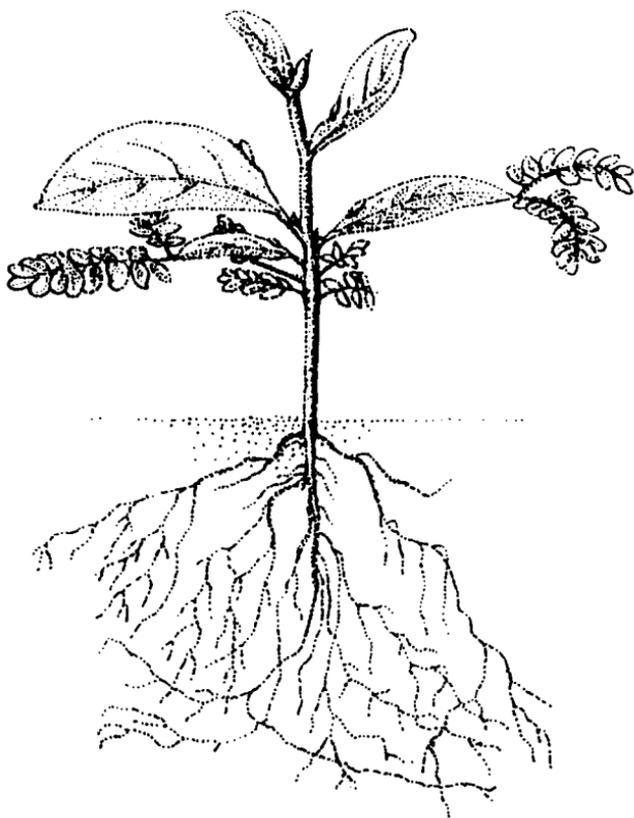


FIGURA 22. *Plántula de una especie de acacia (Goebel, 1898).*

En algunas especies, las formas jóvenes alcanzan la madurez sexual y se reproducen sin formar siquiera las estructuras características del adulto que, de algún modo, se ven omitidas. El ejemplo clásico en este sentido es el ajolote, el renacuajo de la salamandra tigre, que alcanza el tamaño adulto y la madurez sexual sin perder sus características lar-

vales. Si se suministra hormona tiroidea a un ajolote, experimenta una metamorfosis y se convierte en la forma adulta de respiración aérea que sale del agua para vivir en tierra.

Los ejemplos más extremos de supresión de creodas se encuentran entre los parásitos, algunos de los cuales acaban perdiendo casi todas las estructuras características de las formas de vida libre asociadas.

8.5. LA REPETICIÓN DE LAS CREODAS

En todos los organismos multicelulares, hay estructuras que se repiten varias o muchas veces, como podemos ver en los tentáculos de la *Hydra*, los brazos de la estrella de mar, las patas de los ciempiés, las plumas de las aves, las hojas de los árboles, etc. Muchos órganos están constituidos por unidades estructurales repetidas, como los túbulos de los riñones, los segmentos de los frutos, etc. Y, a nivel microscópico obviamente, los tejidos contienen miles o millones de copias de unos pocos tipos básicos de célula.

Si como resultado de mutaciones o cambios ambientales, se forman gérmenes morfogenéticos adicionales en organismos en proceso de desarrollo, es posible que algunas estructuras se repitan más a menudo de lo normal. Un ejemplo familiar del mundo de la horticultura es el que nos proporcionan las llamadas flores “dobles”, es decir, las flores que contienen pétalos adicionales. También hay veces en que los bebés nacen con algún dedo de más en la mano o en el pie. Y son muchos los ejemplos de estructuras anormalmente duplicadas que, al respecto, podemos ver en los manuales de teratología, desde terneras con dos cabezas hasta las monstruosas peras múltiples (figura 23).

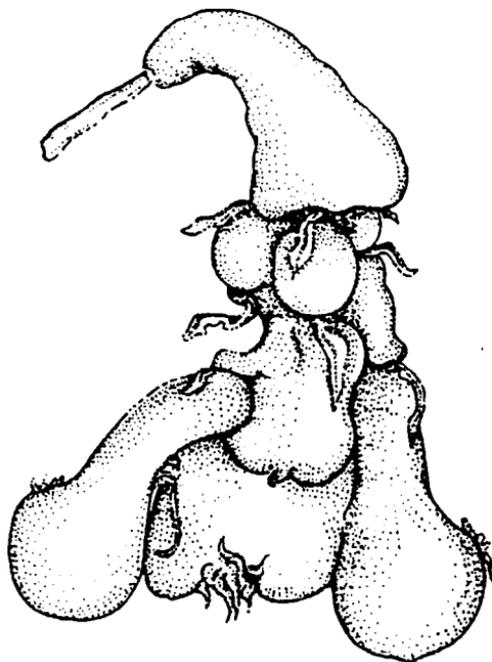


FIGURA 23. *Pera monstruosa* (Masters, 1869).

En la medida en que estas estructuras adicionales se desarrollan, se produce un proceso de regulación de forma que acaba integrándolas, de un modo u otro, con el resto del organismo. Los pétalos adicionales de las flores dobles presentan una vascularización normal y los dedos adicionales en la mano o en el pie gozan también de una inervación y un suministro adecuado de sangre.

La reduplicación de unidades estructurales que se dan en los organismos existentes puede haber desempeñado un papel esencial en la evolución de nuevos tipos de animales y

plantas. Además, también es posible que muchas de las estructuras de animales y plantas hoy en día muy diferentes hayan evolucionado a partir de una ramificación de unidades originalmente similares. Se cree, por ejemplo, que los insectos han evolucionado a partir de criaturas semejantes a ciempiés primitivos, con una serie de segmentos más o menos idénticos, cada uno de los cuales llevaría un par de apéndices semejantes a una pata. Es posible que los apéndices de los segmentos de la parte delantera dieran lugar a las piezas bucales y las antenas y que algunos de los segmentos se fusionasen para formar la cabeza. Y, algunos segmentos del extremo posterior podrían haberse también modificado, dando lugar a estructuras destinadas al apareamiento y manipulación de huevos. En los segmentos abdominales los apéndices se habrían suprimido, pero se habrían conservado en los tres segmentos torácicos, que quizás evolucionasen hasta formar las patas de los insectos modernos.¹²

Pero esta ramificación de creodas originalmente similares sólo hubiera sido posible, según la hipótesis de la resonancia mórfica, si los gérmenes morfogenéticos segmentarios se hubiesen diferenciado estructuralmente lo suficiente porque, en caso contrario, hubiesen seguido asociados al mismo campo morfogenético. E incluso, en el caso de los insectos modernos, si no se hubiese producido, durante algún estadio embriológicamente temprano, esta diversificación de los primordios segmentarios, se perderían las diferencias normales entre segmentos. Esto es, de hecho, lo que parece suceder, como resultado de mutaciones en el complejo génico "bitórax", en el caso de la *Drosophila*, la mosca del vinagre. Algo transforma las estructuras del tercer segmento torácico en las del segundo, de modo que la mosca lleva dos pares de alas en lugar de un solo (figura 17) y, del mismo modo, algo transforma los segmentos abdominales en segmentos de tipo toráci-

co, que llevan patas e igualmente se produce el efecto inverso, con segmentos torácicos que acaban transformándose en segmentos de tipo abdominal.¹³

8.6. LA INFLUENCIA DE OTRAS ESPECIES

Hace ya mucho tiempo que los criadores de animales y plantas advirtieron que, de vez en cuando, las variedades cultivadas producen descendientes que se asemejan al tipo salvaje ancestral. Además, también hay ocasiones, durante el entrecruzamiento entre dos variedades cultivadas distintas, en que los caracteres de la descendencia no se asemejan a los tipos parentales, sino, en un fenómeno conocido con los nombres de "reversión" o "atavismo",¹⁴ a los de los antepasados salvajes.

Hay algunas anomalías morfológicas que, en el contexto de la evolución, pueden ser consideradas reversiones a pautas del desarrollo de especies ancestrales más o menos remotas. La formación anormal de dos pares de alas en las mutantes "bitórax" de la *Drosophila* (figura 17), por ejemplo, puede ser interpretada como una "regresión" al tipo de desarrollo característica de los antepasados de las moscas, que tenían cuatro alas.¹⁵ Son muchos los casos de supuestos atavismos que pueblan la bibliografía teratológica.¹⁶ Y, aunque cabe la posibilidad de que estas interpretaciones sean meras especulaciones, no son necesariamente inverosímiles. Mutaciones o factores ambientales anormales podrían haber establecido, en los tejidos embrionarios, condiciones internas semejantes a las de los tipos ancestrales, con similares consecuencias morfogenéticas.

En la mayoría de plantas y animales, sólo una pequeña proporción del ADN cromosómico, quizás inferior al 5%, contiene genes codificadores de las proteínas del organismo.

Se ignora la función que desempeña la mayor parte del ADN. Bien podría controlar, de algún modo, la síntesis proteica, desempeñar una función estructural en los cromosomas o podría estar formado por genes ancestrales "redundantes" que dejaron de expresarse. Alguien ha sugerido que, si una mutación—debida, por ejemplo, a una nueva disposición de la estructura cromosómica—provocase la expresión de dichos genes "latentes", podrían volverse a producir súbitamente las proteínas características de los antepasados remotos y la reaparición en consecuencia, en algunos casos, de estructuras perdidas hace ya mucho tiempo.¹⁷

Si algunos de esos cambios, hablando en términos de la hipótesis de la causación formativa, hubiesen llevado a un germen morfogenético a adquirir una nueva estructura y una pauta vibratoria semejante a la de una especie ancestral, dicha estructura se hallaría sometida a la influencia del campo morfogenético de esta especie, aunque se hubiese extinguido millones de años atrás. Pero este efecto, por otra parte, no se halla necesariamente confinado a tipos ancestrales. Si, como resultado de una mutación (o por cualquier otra razón), una estructura germinal de un organismo en proceso de desarrollo se asemejase lo suficiente a un germen morfogenético de otra especie, "sintonizaría" con una creoda característica de esta otra especie, independientemente de que se hallara presente o se hubiese extinguido. Y si las células fuesen capaces de sintetizar las adecuadas proteínas, el sistema se hallaría sometido a su influencia.

En el curso de la evolución, por ejemplo, han aparecido, en ocasiones, de forma independiente, estructuras similares en líneas que mantienen una relación más o menos distante. En el caso de los caracoles mediterráneos de tierra, por ejemplo, especies que pertenecen a géneros bien diferenciados identificables por sus genitales, presentan conchas de forma y es-

estructura casi idéntica; algunos géneros de amonitas fósiles muestran un desarrollo paralelo repetido de conchas con quilla y estrías y algunas familias diferentes de mariposas presentan dibujos similares y hasta idénticos en sus alas.¹⁸

Si una determinada mutación consiguiese que un organismo “sintonizara” con las creodas de otra especie y desarrollara, en consecuencia, estructuras características a las de otras especies, no tardaría, si esas estructuras redujesen sus oportunidades de supervivencia, en verse descartada por la selección natural. Pero si, por el contrario, la selección natural la favoreciese, la proporción de tales organismos en la población general tendería a aumentar. En realidad, las presiones de la selección que propician este aumento se asemejan a las de aquellas que favorecen la evolución original de este rasgo particular en las demás especies. Y, en ciertas ocasiones, la semejanza estructural podría verse favorecida por su propio interés, precisamente porque permitiría al organismo imitar a los miembros de otras especies. Por ello los paralelismos evolutivos pueden llevar, en ocasiones, a una especie a “caer” en el campo morfogenético de otra, algo que también puede deberse a la presión paralela de la selección natural.

Presiones parejas de la selección, por otra parte, pueden conducir también a la evolución convergente de estructuras superficialmente similares en diferentes especies gracias a la modificación provocada por campos morfogenéticos diferentes. Pero es poco probable, a menos que las estructuras se parezcan mucho tanto externa como internamente, que se establezca entre ellas una interacción debida a la resonancia mórfica.

8.7. EL ORIGEN DE NUEVAS FORMAS

Según la hipótesis de la causación formativa, la resonancia mórfica y la herencia genética explican la repetición de pautas características de la morfogénesis en generaciones sucesivas de plantas y animales. Además, los rasgos adquiridos en respuesta al entorno pueden heredarse debido a una combinación entre la resonancia mórfica y la selección genética. La morfología de los organismos puede cambiarse a través de la eliminación o la repetición de creodas y algunos ejemplos sorprendentes de evolución paralela pueden atribuirse a la "transferencia" de creodas de una especie a otra.

Pero la repetición, la modificación, la adición, la sustracción o la permutación de los campos morfogenéticos existentes jamás podrán explicar el origen de estos campos. Son muchas las unidades mórficas y sus correspondientes campos morfogenéticos, que se han originado a lo largo del curso de la evolución, como las de los orgánulos, las de los tipos básicos de células, tejidos y órganos y las de las clases fundamentalmente distintas de plantas y animales inferiores y superiores.

Aunque las mutaciones genéticas y los medios anormales pueden haber proporcionado la aparición de nuevas unidades biológicas, las formas de sus campos morfogenéticos no han podido determinarse completamente por causalidad energética ni por causas formativas ya existentes (véase sección 5.1). Es una mera conjetura, por el momento, si los campos morfogenéticos se originan súbitamente en un gran "salto" o, de forma más gradual, a través de una serie de "saltos" más pequeños. En cualquiera de los casos, sin embargo, las nuevas formas asumidas en esos "saltos" no pueden ser explicadas, desde dentro del marco de referencia de la ciencia, en términos de causas precedentes.

Como veremos en el capítulo 12, el origen de las nuevas formas puede atribuirse a la actividad creativa de una instancia que impregna y trasciende la naturaleza, una fuerza creativa inmanente a la naturaleza o el ciego azar. Pero no hay hipótesis corroborable alguna que pueda inclinarnos hacia una u otra de todas estas posibilidades metafísicas. Todavía no tenemos, desde el punto de vista de la ciencia natural, respuesta alguna a la cuestión de la creatividad de la evolución.

9. MOVIMIENTOS Y CAMPOS MOTORES

9.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores nos hemos referido al papel desempeñado, en la morfogénesis, por la causación formativa. El objeto de este capítulo y de los dos siguientes se centrará en la función de la causación formativa en el control del movimiento y la conducta.

Algunos de los movimientos de las plantas y animales son espontáneos, lo que significa que ocurren en ausencia de cualquier estímulo concreto procedente del entorno. Otros movimientos tienen lugar en respuesta a los estímulos medioambientales. Obviamente, los organismos responden de forma pasiva a las fuerzas físicas ordinarias —un árbol puede ser derribado por el viento o un animal verse arrastrado por una fuerte corriente de agua—, pero muchas respuestas son activas y no pueden explicarse como efectos físicos o químicos de los estímulos del organismo como totalidad. Estos ejemplos, dicho de otro modo, revelan la *sensibilidad* del organismo al medio, una sensibilidad que depende por lo general de los receptores especializados a los que denominamos órganos sensoriales.

Conocemos con cierto detalle el fundamento físico y químico de estos receptores especializados de estímulos procedentes del entorno, así como también de la fisiología del im-

pulso nervioso y del funcionamiento de los músculos y otras estructuras motoras. Pero lo cierto es que, a pesar de todo ello, es muy poco lo que sabemos sobre el control y la coordinación de la conducta.

En este capítulo sugerimos que, del mismo modo que la causación formativa organiza la morfogénesis a través de estructuras de probabilidad de campos que imponen pautas y orden a procesos energéticamente indeterminados, así se organiza también el movimiento y, por tanto, la conducta. Y, como las similitudes existentes entre morfogénesis y conducta no son evidentes de inmediato, resulta interesante empezar con plantas y animales unicelulares como la *Amoeba*, cuyos movimientos son esencialmente morfogenéticos. Comencemos ahora con ellas nuestra exposición.

9.2. LOS MOVIMIENTOS DE LAS PLANTAS

El movimiento de las plantas suele mostrarse a través del crecimiento.¹ Éste es un hecho que resulta fácil de advertir cuando se observan filmaciones a cámara rápida: salen los brotes y se inclinan hacia la luz; las raíces primarias penetran en el suelo y los extremos de los zarcillos y de los tallos trepadores trazan espirales en el aire hasta que llegan a establecer contacto con un soporte sólido, en torno al cual, a partir de ese momento, se enrollan.²

El crecimiento y desarrollo de las plantas tiene lugar bajo el control de sus campos morfogenéticos, que son los que les confieren sus formas características. Pero la orientación de este crecimiento se halla fundamentalmente determinada por los estímulos direccionales de la gravedad y la luz. Los factores ambientales influyen también en el tipo de desarrollo porque, ante la falta de luz, por ejemplo, las plantas se de-

coloran y sus brotes aceleran su crecimiento hasta llegar a establecer contacto con la luz.

La gravedad se "capta" a través de su efecto sobre los granos de almidón, que se desplazan hacia abajo y se acumulan en la parte inferior de las células.³ La dirección de la luz se detecta mediante la absorción diferencial de la energía de radiación en las zonas oscuras e iluminadas de los órganos gracias a la presencia de un pigmento carotenoide amarillo.⁴ El sentido del "tacto" mediante el cual las ramas y zarcillos trepadores localizan soportes sólidos puede implicar la liberación de una sustancia química sencilla, el etileno de la superficie de las células mecánicamente estimuladas.⁵ El cambio del crecimiento decolorado al crecimiento normal depende de la absorción de luz por parte de un pigmento proteico azul denominado fitocromo.⁶

Las respuestas a estos estímulos implican complejos cambios físicos y químicos en el interior de las células y de los tejidos, llegando incluso a depender, en algunos casos, de la distribución diferencial de hormonas tales como la auxina. Sin embargo, las reacciones no pueden explicarse exclusivamente en función de estos cambios físicos y químicos. Sólo pueden entenderse desde la perspectiva proporcionada por el contexto de los campos morfogenéticos globales de las plantas. Debido a su polaridad intrínseca, por ejemplo, las plantas producen brotes en un extremo y raíces en el otro. El estímulo direccional de la gravedad orienta este desarrollo polarizado de modo que los brotes crezcan hacia arriba y las raíces hacia abajo. Pero aunque la acción del campo gravitacional sobre los granos de almidón del interior de las células y los correspondientes cambios de distribución hormonal sean, en realidad, causas de este movimiento de crecimiento orientado, en modo alguno explican la polaridad preexistente, así como tampoco el hecho de que los principales brotes y raíces

respondan en sentidos exactamente opuestos, ni los diferentes hábitos del crecimiento de los árboles, las hierbas, las trepadoras y las enredaderas y las pautas concretas de ramificación de los sistemas de brotes y raíces de las diferentes especies. Todas estas características dependen de los campos morfogenéticos.

Aunque la mayor parte de movimientos de las plantas sólo ocurren en órganos jóvenes, algunas estructuras conservan la capacidad de moverse aun cuando son maduras, como sucede, por ejemplo, con las flores que se abren y cierran a diario y las hojas que se pliegan al llegar la noche. Estos movimientos se ven influidos por la intensidad de la luz y otros factores ambientales, que se hallan bajo el control de un "reloj fisiológico" y siguen presentándose, aun en el caso de que las plantas se encuentren en un entorno en el que esa alternancia no tenga lugar, a intervalos aproximadamente circadianos.⁷ Las hojas o pétalos se abren debido a unas células especializadas ubicadas en la región del "charnela", en su base, que se torna turgente, cerrándose cuando, debido a cambios en la permeabilidad a los iones inorgánicos de sus membranas, pierden agua.⁸ La recuperación de la turgencia es un proceso activo que precisa energía y se asemeja, en cierto modo, al crecimiento.

Además de realizar movimientos "nocturnos", las hojas de algunas especies se mueven durante el día en respuesta a la posición cambiante del sol. En el caso del guandú (*Cajanus cajan*), por ejemplo, los folíolos expuestos al sol se orientan en dirección aproximadamente paralela a los rayos del sol exponiendo, de ese modo, la menor superficie posible a la intensa radiación tropical. Pero las hojas que quedan a la sombra se orientan formando un ángulo recto con respecto a la radiación incidente e interceptando, de ese modo, la mayor cantidad posible de luz. Estas respuestas dependen de la di-

rección y de la intensidad de la luz que llega a unas articulaciones foliares especializadas denominadas pulvínulos. Durante el día, las hojas y los folíolos cambian su posición en la medida en que el sol va desplazándose por el cielo. Durante la noche, por el contrario, adoptan su posición "nocturna" vertical, porque los pulvínulos son tan sensibles a la gravedad como a la luz.

En la *Mimosa pudica*, la llamada "planta sensitiva", como en muchas otras leguminosas, los folíolos se cierran y las hojas miran, durante la noche, hacia el suelo. Pero estos movimientos también ocurren, en respuesta a la estimulación mecánica, durante el día (figura 24). El estímulo provoca una onda de despolarización eléctrica, semejante a un impulso nervioso, que recorre la hoja. De este modo, si el estímulo es lo suficientemente fuerte, el impulso se extiende a otras hojas, que también se pliegan.⁹ De manera parecida, la estimulación mecánica de los sensibles pelos de la superficie de las hojas de la atrapamoscas, la *Dionaea muscipula*, hace que un impulso eléctrico recorra las células "charnela" turgentes, que pierden entonces agua rápidamente, cerrando la hoja como una trampa en torno al desventurado insecto, que no tarda en verse digerido.¹⁰

Estos movimientos de las hojas y los folíolos en respuesta a la luz, la gravedad y los estímulos mecánicos son posibles gracias al hecho de que unas células especializadas son capaces de perder agua y volver a "crecer". Así es como conservan un potencial morfogenético simplificado que, en la mayoría de los tejidos, se pierde cuando maduran y dejan de crecer. Los movimientos reversibles de estas estructuras especializadas pueden considerarse casos limitadores de morfogénesis en donde los cambios de forma acaban estereotipándose y tornándose repetitivos. Pero su simplicidad casi mecánica no es evolutivamente primaria, sino secundaria;



FIGURA 24. Hojas de la planta sensitiva *Mimosa pudica*. A la izquierda, sin estimular; a la derecha, estimulada.

han evolucionado a partir de una base en la que la sensibilidad a los estímulos ambientales está ligada al desarrollo y morfogénesis de la totalidad de la planta.

9.3. MOVIMIENTO AMEBOIDAL

Las amebas se mueven a través del citoplasma desarrollando unas proyecciones denominadas pseudópodos. Normalmente se arrastran por la superficie de objetos sólidos extendiendo todo el rato su parte delantera. Pero, cuando los pseudópodos

topan con algo caliente o con una sustancia química concentrada, se retraen y desarrollan otros, con lo cual, la célula cambia de dirección. Y, si los nuevos pseudópodos vuelven a tropezar con algún estímulo potencialmente dañino, el proceso se repite y la ameba se mueve en otra dirección. Este método de "ensayo y error" prosigue hasta el momento en que encuentra un camino despojado de obstáculos y estímulos desfavorables.¹¹

En las amebas que flotan libremente y no se hallan expuestas, en consecuencia, a ningún estímulo direccional concreto, no existe ninguna orientación coherente del crecimiento. En tal caso, los pseudópodos siguen desarrollándose en diversas direcciones hasta que alguno acaba estableciendo contacto con una superficie sobre la que pueda deslizarse (figura 25).

La extensión de los pseudópodos parece ocurrir bajo la influencia concreta de un campo morfogenético polarizado. La orientación en la que los nuevos pseudópodos empiezan a formarse depende, en gran medida, de las fluctuaciones azarosas que tienen lugar en el interior de la célula; los verdaderos pseudópodos que se proyectan hacia el exterior del cuerpo celular se realizan a través de la organización de filamentos contráctiles u otras estructuras citoplasmáticas. Este proceso prosigue hasta que el desarrollo de los pseudópodos

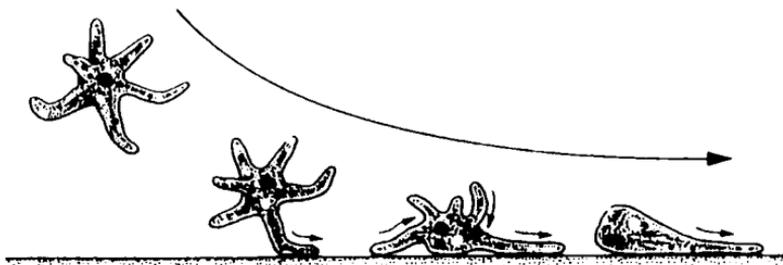


FIGURA 25. Método a través del cual una ameba deja de flotar cuando pasa a una superficie sólida. (Jennings, 1906).

se ve inhibido por estímulos medioambientales o por la competencia de los pseudópodos que crecen en otras direcciones.

El hecho de que los movimientos ameboides dependan de continuos procesos morfogenéticos se ve claramente reflejado en el nombre de la *Amoeba proteus*, que hace alusión a la deidad marina mítica que cambiaba continuamente de forma.

Para alimentarse, las amebas devoran partículas de alimento, como bacterias, mediante un proceso denominado fagocitosis, que consiste en la creación de pseudópodos en torno a la partícula que se halla en contacto con la superficie de la célula. Luego las membranas de los pseudópodos se fusionan encerrando a la partícula, que queda entonces dentro de la membrana celular. Otras vesículas que contienen enzimas digestivas se funden entonces con esa vesícula fagocítica y el alimento se ve digerido. Este tipo de morfogénesis es diferente al de la locomoción celular y parece tener lugar bajo la influencia de un campo morfogenético diferente, cuya orientación depende del contacto de la partícula potencialmente alimenticia con la membrana. La partícula que permanece en contacto con la membrana puede considerarse el germen morfogenético y la forma final es la partícula absorbida por la célula. La creoda de la fagocitosis que da lugar a esta forma final viene determinada por resonancia mórfica de todos los actos de fagocitosis semejantes realizados, en el pasado, por amebas similares.

9.4. LA MORFOGÉNESIS REPETITIVA DE ESTRUCTURAS ESPECIALIZADAS

El movimiento de la mayoría de animales no depende del cambio de forma de la totalidad del organismo, sino de ciertas estructuras especializadas.

Muchos organismos unicelulares se impulsan mediante

el movimiento de prolongaciones filiformes, cilios o flagelos, mientras que la forma del resto de la célula permanece relativamente inmóvil (figura 26). Estos orgánulos móviles contienen largos elementos tubulares muy parecidos a los microtúbulos citoplasmáticos; el cambio de forma de las proteínas asociadas a los túbulos genera una fuerza de deslizamiento que hace que los flagelos o cilios se doblen.¹²

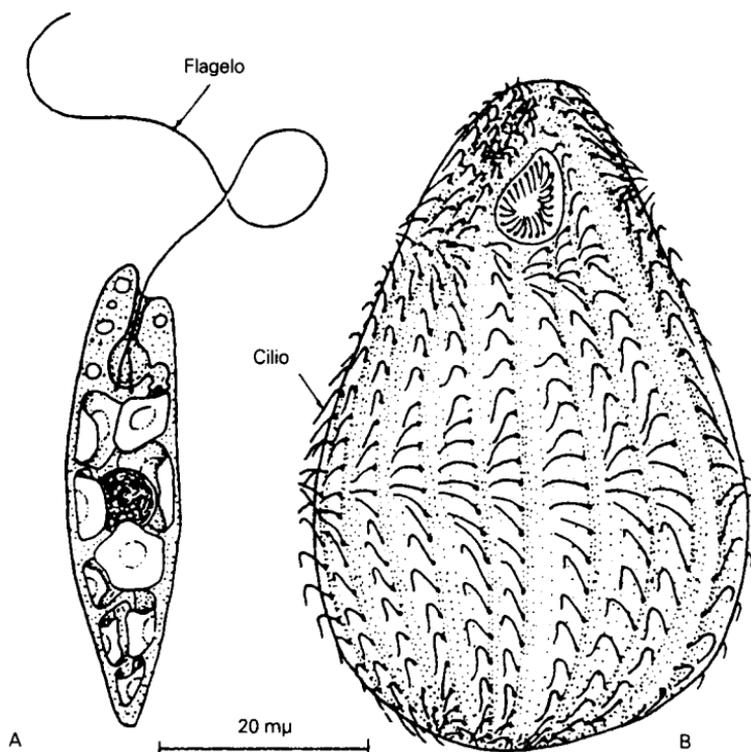


FIGURA 26. A: un flagelado, *Euglena gracilis*. (Raven et al., 1976). B: un ciliado, *Tetrahymena pyriformis* (Mackinnon y Hawes, 1961).

La coordinación de muchos cilios individuales tiene lugar, en el caso de los ciliados, de un modo tal que la superficie de la célula se ve atravesada por ondas de pulsación. En algunas especies, esa coordinación parece depender de una influencia mecánica que los cilios ejercen sobre sus vecinos y, en otras, de un sistema de excitación propio de la célula, muy probablemente asociado a unas fibrillas finas que conectan las bases de los cilios.¹³

Si un ciliado acuático como, por ejemplo, el *Paramecium*, tropieza con un estímulo desfavorable, la dirección de la pulsación ciliar se invierte y el organismo retrocede y sigue nadando en dirección contraria.¹⁴ Esta reacción de evitación probablemente se active a través de la entrada, en el interior de la célula, de iones calcio u otros como resultado de una modificación provocada, por el estímulo, en la permeabilidad de la membrana.¹⁵

El cambio de forma de los flagelos y cilios en movimiento, así como el control de dicho movimiento, tiene lugar de un modo tan repetitivo y estereotipado que parece mecánico.

Y esta especialización cuasi mecánica de estructuras y funciones se acentúa todavía más en los animales multicelulares. En tal caso, células y grupos de células se especializan y experimentan una morfogénesis repetida y simplificada en sus ciclos de contracción y relajación; otras células presentan una sensibilidad especializada a la luz, a determinadas sustancias químicas, a la presión, a la vibración o a otros estímulos, y los nervios, con sus largos axones, acaban especializándose en la transmisión, de un punto a otro, de impulsos eléctricos y vinculando los órganos sensoriales y los músculos a la red nerviosa o sistema nervioso central.

9.5. SISTEMAS NERVIOSOS

Del mismo modo que la pulsación de los cilios individuales de la superficie de un ciliado está coordinada, a través de conexiones físicas definidas concretas, con la de cilios vecinos, la contracción de las células musculares individuales, también lo está debido, en este caso, a los impulsos transmitidos a través del sistema nervioso. Por ello, cuando varias células vecinas se ven activadas por el mismo nervio, se contraen simultáneamente. Y, cuando la actividad de este nervio forma parte de un sistema de control supraordenado, la contracción de diferentes grupos de células puede coordinarse rítmicamente, como sucede en el músculo que, durante un tiempo, se mantiene en tensión. Así es como sistemas supraordenados controlan los ciclos repetitivos de contracción de músculos diferentes, como ilustra el caso, por ejemplo, de las patas de un animal que corre. La organización jerárquica de la actividad coordinada por el sistema nervioso posibilita así un grado de coordinación que resultaría imposible si los campos que controlan los movimientos de los organismos actuasen directamente sobre las células musculares.

Pero aunque, por una parte, los nervios transmitan, de un lugar a otro, impulsos definidos del tipo "todo o nada", la causación formativa sería incapaz, por otra parte, de controlar el movimiento de los animales a través del sistema nervioso si la actividad de los nervios no fuese, al mismo tiempo, de orden intrínsecamente probabilístico. Porque eso es precisamente, de hecho, lo que ocurre.

La activación de los impulsos nerviosos depende de cambios en la permeabilidad de la membrana neuronal a determinados iones inorgánicos, en particular, el sodio y el potasio. Estos cambios pueden producirse por estimulación eléctrica o mediante la liberación al espacio intersináptico de transmi-

sores químicos específicos, como la acetilcolina, por ejemplo (figura 27). Hace ya tiempo que sabemos que la excitación de los nervios por estímulos eléctricos en torno a un determinado nivel umbral tiene lugar de un modo básicamente probabilístico.¹⁶ Y la principal razón para ello es que el potencial eléctrico que se establece a través de la membrana fluctúa de manera aleatoria.¹⁷ Además, los cambios producidos en la membrana postsináptica debido a la acción de transmisores químicos también experimentan fluctuaciones aleatorias¹⁸ debido, al parecer, a la abertura y cierre probabilístico de los “canales” iónicos a través de la membrana.¹⁹

Pero el probabilismo no sólo afecta a la respuesta de las membranas postsinápticas a los transmisores químicos, sino que también influye en la liberación de neurotransmisores en la región presináptica de las terminaciones nerviosas. Las moléculas transmisoras se almacenan en numerosas vesículas microscópicas (figura 27) y se liberan en la hendidura sináptica cuando tales vesículas se unen a la membrana. Este proceso tiene lugar, a intervalos aleatorios, de manera espontánea, dando lugar a descargas de los denominados potenciales de placa en miniatura. La tasa de secreción aumenta de forma extraordinaria cuando un impulso llega a la terminación nerviosa, pero también, en este caso, se produce probabilísticamente la fusión de las vesículas con la membrana.²⁰

En el interior del cerebro, la típica neurona tiene miles de finas proyecciones filiformes que finalizan en la unión sináptica con otras células nerviosas y, a la inversa, proyecciones de centenares o miles de otras células nerviosas acaban en las sinapsis de su propia superficie (figura 27). Algunas de estas terminaciones nerviosas liberan neurotransmisores excitadores que tienden a estimular la activación de un impulso mientras que otras, por el contrario, tienen un efecto inhibitorio y reducen, en consecuencia, la tendencia a la activación de la

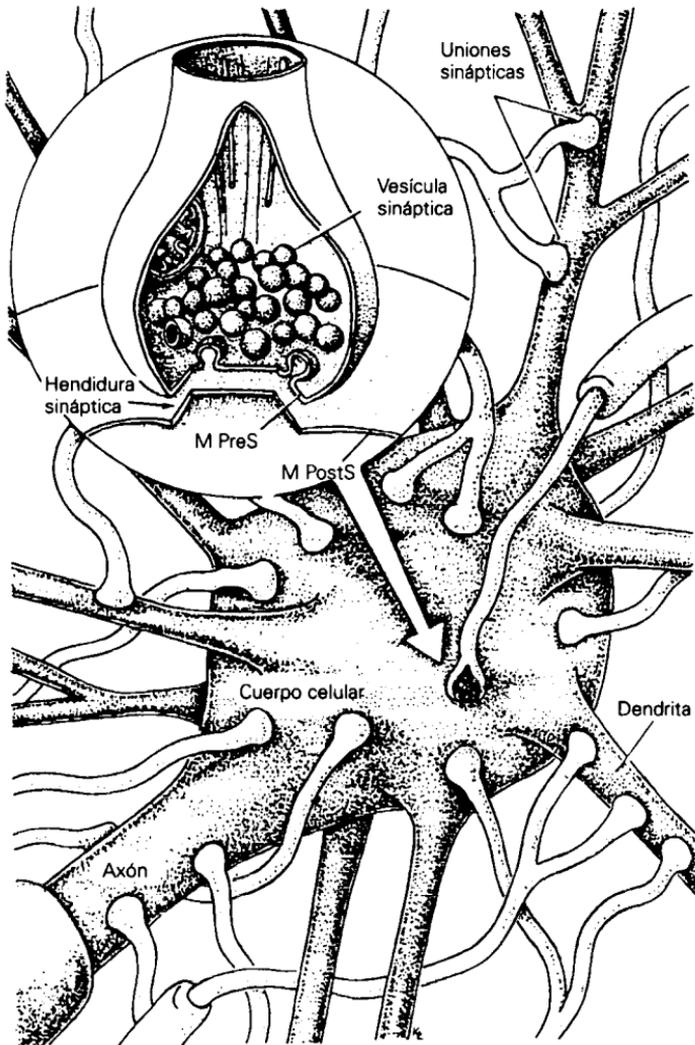


FIGURA 27. Parte de una célula nerviosa, con numerosas sinapsis en su superficie. La región encerrada en el círculo muestra con más detalle una sinapsis individual. M PreS: membrana presináptica; M PostS: membrana postsináptica (según Krstic, 1979).

neurona. La activación de los impulsos depende, en realidad, del equilibrio entre la actividad excitatoria e inhibitoria de centenares de sinapsis. Es muy probable que, en un determinado momento, este equilibrio se alcance en muchas de las células nerviosas del cerebro de un modo tan crítico que desencadene o no la activación en función de fluctuaciones probabilísticas que tienen lugar en las membranas celulares o en la sinapsis. Así es como la propagación determinística de los impulsos nerviosos de una parte a otra del cuerpo se combina con el alto grado de indeterminismo del sistema nervioso central ordenado y pautado, según la presente hipótesis, por causación formativa.

9.6. CAMPOS MORFOGENÉTICOS, CAMPOS MOTORES Y CAMPOS CONDUCTUALES

Aunque los campos que controlan los cambios de forma de las estructuras motoras especializadas de los animales sean, de hecho, morfogenéticos, no provocan cambios de forma, sino movimientos. Por ello parece preferible referirnos a ellos con la expresión "campos motores" (utilizando el término "motor" en su acepción de "movimiento"). Como sucede con los campos morfogenéticos, los campos motores están ligados, por resonancia mórfica, a sistemas anteriores similares y están implicados en la actualización de formas virtuales. En el contexto de los campos motores, las vías encauzadas hacia una determinada forma o estado final pueden denominarse también, como hacíamos en el contexto de los campos morfogenéticos, creodas.

Los campos motores, como los campos morfogenéticos, se hallan jerárquicamente organizados y suelen estar ligados al desarrollo, la supervivencia y la reproducción. Mientras

que, en el caso de las plantas, estos procesos son casi totalmente morfogenéticos, en el de los animales dependen también del movimiento. En realidad, en la mayoría de animales, hasta el mantenimiento de las funciones corporales normales implica un movimiento continuo de órganos internos como los intestinos, el corazón y el sistema respiratorio.

A diferencia de lo que sucede con las plantas, los animales, para desarrollarse y conservar su forma, necesitan alimentarse de otros seres vivos. Por ello un importante campo motor supraordenado de los animales es el de la alimentación. En este punto, el campo motor se convierte en un *campo conductual*, responsable de organizar las pautas conductuales heredadas o aprendidas.

El campo conductual de la alimentación se encarga de organizar campos conductuales subsidiarios responsables de buscar, obtener y consumir las plantas o animales que nos sirven de alimento. Algunos animales son sedentarios y atraen el alimento hacia ellos aprovechándose de las corrientes de agua; otros simplemente se mueven hasta que encuentran plantas comestibles; otros acechan y cazan a otros animales; algunos elaboran trampas para cazar a sus presas; algunos son parásitos; otros carroñeros; etc. Todos estos métodos de alimentación están organizados en jerarquías de creodas concretas.

Otro tipo fundamental de campo motor es el que se refiere a la evitación de condiciones desfavorables. La *Amoeba* y el *Paramecium* muestran el tipo más sencillo de reacción: dar la espalda a los estímulos desfavorables y encaminarse en otra dirección. Los animales sedentarios como la *Hydra* y el *Stentor* reaccionan ante estímulos ligeramente desfavorables contrayendo su cuerpo, pero, cuando los estímulos son más severos, acaban alejándose e instalándose en otro lugar. Son muchos los animales que, además de las reacciones generales

de evitación, presentan también modalidades espaciales de conducta que les ayudan a escapar de los depredadores. Por ejemplo, pueden alejarse corriendo, quedarse en el mismo lugar y asustar, de algún modo, al depredador o quedarse inmóviles, en un intento de pasar desapercibidos.

Los campos globales de desarrollo y supervivencia apuntan, en última instancia, a la forma del animal adulto en condiciones óptimas. Cuando se alcanza este estado, el animal no tiene ninguna necesidad de hacer nada en concreto, pero las desviaciones de ese estado le llevan a caer bajo el influjo de diferentes campos motores cuyo objetivo consiste en la recuperación del equilibrio. En realidad, dichas desviaciones son frecuentes, porque el metabolismo del animal consume de continuo sus reservas alimenticias, los cambios ambientales le exponen a condiciones desfavorables y los predadores acechan de un modo imprevisible. Las estructuras sensoriales se ocupan de detectar éstos y otros cambios, dando lugar a modificaciones características del sistema nervioso, directamente o a través de la liberación de hormonas tales como la adrenalina. Estas modificaciones de la actividad del sistema nervioso proporcionan las estructuras germinales de determinados campos conductuales, que entran en resonancia mórfica con pautas de actividad anteriores del mismo animal o de otros animales semejantes. La memoria individual, al igual que la memoria colectiva, dependen de la resonancia mórfica.²¹

El atractor final del campo global de la reproducción consiste en la producción de una descendencia viable. En el caso de los organismos unicelulares y de animales multicelulares simples como la *Hydra*, esto se logra mediante un proceso morfogénico en el que el organismo se divide en dos o da lugar, "por gemación", a nuevos individuos. Del mismo modo, los métodos primitivos de reproducción sexual son esencialmente morfogénicos: muchos animales inferiores (como,

por ejemplo, el erizo de mar) y algunas plantas inferiores (como el alga *fucus*) lanzan simplemente millones de óvulos y espermatoцитos al agua que les rodea.

En los animales más complejos, los espermatoцитos no se liberan al azar, sino, como resultado de una conducta de apareamiento especializada, en proximidad de los óvulos. Así pues, el campo global de reproducción abarca los campos conductuales de búsqueda de pareja, cortejo y copulación. Los organismos pueden quedar bajo la influencia del primer campo motor de la secuencia como resultado de cambios fisiológicos internos mediados por hormonas, así como de estímulos olfativos, visuales o de otro tipo producidos por la posible pareja. Y el punto final del primer campo constituye el germen del segundo y así sucesivamente. De este modo, a la búsqueda de pareja le sigue el cortejo y, cuando éste se logra, se inicia la creoda de la copulación. En los casos más simples, la forma final de toda la secuencia es, en el caso del macho, la eyaculación, y, en el de la hembra, la puesta de huevos. En muchos organismos acuáticos los huevos se liberan sencillamente al agua, pero, en los animales terrestres, la puesta implica a menudo pautas de conducta muy complejas y concretas. El icneumon volador, por ejemplo, inyecta sus huevos en orugas de otras especies, en cuyo interior se desarrollan parasitariamente las larvas y las avispas del barro fabrican con él pequeñas celdas en las que introducen a su presa paralizada, antes de depositar en ella sus huevos y cerrar la celda.

Algunas especies vivíparas liberan y abandonan a sus crías recién nacidas. Pero, cuando los progenitores, cuidan a las crías una vez que éstas han nacido o salido del huevo, se activa una nueva secuencia de campos conductuales, todavía bajo la influencia del campo global de la reproducción de los progenitores pero que, de ese modo, contribuyen al desarro-

llo y supervivencia de la cría. Así es como la conducta de los animales acaba adquiriendo una dimensión social. En los casos más sencillos, las sociedades en cuestión son provisionales y se desintegran en el mismo momento en que la descendencia se independiza, mientras que, en otros, persisten con el consiguiente aumento de complejidad conductual que ello comporta. Algunos campos conductuales especiales controlan los diferentes tipos de comunicación entre individuos, así como las tareas diferenciadas que llevan a cabo los diferentes individuos. Pero un campo global que organiza la sociedad es un campo supraordenado, *un campo social*.

Un campo social es el campo de un grupo social. Ese tipo de campo organiza la forma de la sociedad y las relaciones existentes entre los distintos animales que lo componen. Es un campo en una jerarquía anidada de campos (figura 10), un campo que ocupa un nivel superior y más inclusivo que los animales individuales que configuran esa sociedad.

En las sociedades extraordinariamente complejas de las termitas, las hormigas y las abejas y avispas sociales, individuos de constitución genética similar o idéntica desempeñan tareas muy diferentes y, en ocasiones, el mismo individuo puede desempeñar, en distintos momentos, roles diferentes. Una abeja obrera joven, por ejemplo, puede comenzar limpiando la colmena, a los pocos días actuar como nodriza, ayudar después a construir panales, recibir y almacenar polen, defender luego la colmena y salir, por último, en busca de alimento.²² Cada una de esas distintas funciones depende de un campo social que, a su vez, controla los campos conductual y motor de los individuos concretos. Dentro de esos animales, el campo global conductual controla las creodas infraordenadas implicadas en tareas especializadas concretas. Cambios en el sistema nervioso del insecto afectan al individuo que se halla bajo la influencia de uno u otro de estos campos supra-

ordenados y les lleva a entrar en resonancia mórfica con trabajadores anteriores que desempeñaban el mismo rol social. Esos cambios dependen, en cierta medida, de alteraciones en la fisiología del insecto en la medida en que crece, pero también tienen que ver con la totalidad de la sociedad. Los roles del individuo cambian en respuesta a perturbaciones de la colmena o de la sociedad. De este modo, el sistema, como totalidad, se autorregula.

Los campos conductuales de la alimentación, la evitación, la reproducción, etc., suelen controlar una serie de campos infraordenadas que se activan de manera secuencial y en donde el estadio final de uno constituye la estructura germinal del siguiente. Los campos motores que ocupan, en la jerarquía, un lugar inferior, a menudo operan en ciclos, dando origen a movimientos repetitivos, como los de las piernas al caminar, las alas al volar o las mandíbulas al masticar. En el más bajo de todos de los niveles jerárquicos se hallan los campos implicados en el control detallado de la contracción de las células dentro de los músculos.

Los campos conductuales no sólo abarcan los órganos sensoriales, el sistema nervioso y los músculos, sino también objetos *externos* al animal. Consideremos, por ejemplo, el campo de la alimentación. El proceso global —de captura e ingesta de alimento— constituye, de hecho, un tipo especial de morfogénesis agregativa (véase sección 4.1). El animal hambriento es la estructura germinal que entra en resonancia mórfica con formas finales previas de este campo motor, a saber, animales anteriores similares, entre los que se encuentra él mismo, en un estado bien alimentado. En el caso de un depredador, el logro de esta forma final depende de la captura e ingestión de la presa (véase figura 11). Esta forma virtual se actualiza cuando una entidad lo suficientemente próxima se aproxima al depredador, momento en el cual la presa es reconocida y se

inicia la creoda de la captura.²³ Teóricamente, el campo conductual podría afectar a eventos probabilísticos en alguno o en todos los sistemas que abarca, incluyendo los órganos sensoriales, los músculos y la misma presa. Pero, en la mayoría de casos, lo más probable es que su influencia se limite a la modificación de eventos probabilísticos del sistema nervioso central, orientando los movimientos del animal hacia el logro de la forma final que, en este caso, consiste en la captura de la presa.

9.7. LOS CAMPOS CONDUCTUALES Y LOS SENTIDOS

Mediante la resonancia mórfica, el animal cae bajo la influencia de campos conductuales concretos como resultado de su estructura y pautas características de actividad rítmica. Estas pautas se ven modificadas por los cambios que tienen lugar dentro del cuerpo del animal y mediante influencias ambientales.

Si distintos estímulos acaban provocando, en el animal, los mismos cambios, son el resultado de la intervención de los mismos campos motores y conductuales. Esto es lo que parece suceder en organismos unicelulares que dan lugar, ante una amplia diversidad de estímulos físicos y químicos, a las mismas reacciones de evitación. Probablemente todos ellos tengan efectos similares sobre el estado físico y químico de la célula, modificando, por ejemplo, la permeabilidad de la membrana celular al calcio u otros iones.

El rango de reacciones a los estímulos de los animales multicelulares simples con una especialización sensorial relativamente pobre no es mucho mayor que en el caso de los organismos unicelulares. La *Hydra*, por ejemplo, presenta las mismas reacciones de evitación a muchos estímulos físicos y

químicos diferentes y sólo responde a objetos como partículas de alimento como resultado del contacto mecánico. Sin embargo, como sucede en ciertos organismos unicelulares, los estímulos químicos sí que modifican su respuesta ante objetos sólidos. Hay un pequeño experimento que pone claramente de relieve este efecto: la aplicación de pequeños trozos de papel de filtro a los tentáculos de una *Hydra* hambrienta no provoca reacción alguna, pero si previamente lo humedecemos con jugo de carne, los tentáculos llevan los trozos de papel hacia la boca y la *Hydra* se los traga.²⁴

Los animales que poseen ojos capaces de formar imágenes, por su parte, pueden percibir objetos que se encuentran a cierta distancia. En consecuencia, los campos conductuales se proyectan, gracias a la vista, hacia el entorno, con lo cual, aumenta considerablemente el rango y amplitud de la conducta del animal. La detección de estos campos y el registro que las posibles presas puedan tener al respecto quizás sea el sostén de la sensación de sentirse observado.²⁵

El sentido del oído permite detectar, de manera parecida, objetos distantes y expande, en consecuencia, el rango espacial de los campos motores hasta regiones que ni siquiera pueden ser vistas. En algunos animales como, por ejemplo, los murciélagos, esta sensación ha reemplazado a la vista como fundamento de los campos conductuales extendidos. Y los individuos de algunas especies acuáticas, como los mormíridos y los gimnótidos, por ejemplo, poseen receptores especializados para la detección de cambios en el campo eléctrico que les rodea mediante pulsaciones de sus órganos eléctricos, una sensación que les permite identificar la presencia de presas y otros objetos en los fangosos ríos tropicales que les sirve de hábitat.

Cuando el animal se mueve, cambian los estímulos sensoriales procedentes tanto de su cuerpo como del entorno, pro-

porcionando un *feedback* continuo que desempeña un papel fundamental en la coordinación de los movimientos por parte de los campos motores.

Los campos motores y conductuales, como los campos morfogenéticos, probablemente sean estructuras de probabilidad asociadas, por resonancia mórfica, a sistemas físicos debido a sus pautas tridimensionales de oscilación. Resulta muy importante, en consecuencia, que todos los *inputs* sensoriales se vean traducidos, en el sistema nervioso, a pautas de actividad espacio-temporal. En el caso del tacto, los estímulos actúan sobre ciertas partes del cuerpo que, a través de determinados caminos neuronales, se ven "cartografiadas" en el cerebro; en el caso de la vista, las imágenes que llegan a la retina transmiten información sobre cambios de pautas espaciales que tienen lugar en los nervios ópticos y la corteza visual. Y, aunque los estímulos olfativos, gustativos y auditivos no sean estrictamente espaciales, los nervios que excitan a través de los correspondientes órganos sensoriales poseen una ubicación específica y los impulsos que, a través de ellos, se transmiten por el sistema nervioso central dan lugar a pautas de excitación características.²⁶

Los estímulos y combinaciones de estímulos tienen, pues, efectos espacio-temporales característicos. Estas pautas dinámicas de actividad llevan al sistema nervioso a entrar en resonancia mórfica con sistemas nerviosos pasados parecidos en estados similares y les someten, por tanto, a la influencia de campos motores y conductuales concretos.

9.8. REGULACIÓN Y REGENERACIÓN

Los campos conductuales, como los morfogenéticos, atraen a los sistemas que se hallan bajo su influencia hacia formas

finales características. Y, para ello, suelen iniciar una serie de movimientos que se atiene a una secuencia definida. Los estadios intermedios de esa secuencia se ven estabilizados por resonancia mórfica o, dicho en otras palabras, son creodas. Pero las creodas representan sencillamente el camino más probable para alcanzar la forma final. Y, en el caso de que el cauce habitual se vea bloqueado o de que el sistema, por la razón que sea, se vea desviado, acaba alcanzando, por un camino diferente, la misma forma final. A ello precisamente nos referimos cuando decimos que el sistema se autorregula (véase sección 4.1). La gran mayoría de los sistemas morfogenéticos son capaces de autorregularse y lo mismo ocurre con los sistemas sociales, conductuales y motores.

La regulación ocurre, bajo la influencia de los campos conductuales y motores, a todos los niveles de la jerarquía. La lesión de unos pocos músculos o nervios de la pata de un perro desencadena, por ejemplo, la pauta de contracción de otros músculos que, de ese modo, se ajustan para que la extremidad pueda seguir funcionando con relativa normalidad. Y, en el caso de que, por un motivo u otro, la pata se viese amputada, el movimiento de las demás se acomoda para que el perro pueda seguir desplazándose, aunque, para ello, cojee. Si lo que se lesiona es una parte de la corteza cerebral, al cabo de un tiempo se recupera más o menos completamente y, si se queda ciego, la capacidad de moverse mejora poco a poco en la medida en que el animal apela, para compensar, al resto de los sentidos. Y si, por último, tropieza con un obstáculo que le impide seguir el camino de siempre, modifica su secuencia habitual de movimientos hasta encontrar un nuevo camino que le permite alcanzar su objetivo y regresar a casa.

El equivalente conductual de la regeneración tiene lugar cuando, después de haberse puesto en marcha la forma final de una creoda, luego se ve interrumpida. Pensemos, por ejem-

plo, en un gato que ha atrapado a un ratón, el punto final de la creoda de captura. Si, en ese momento, el ratón escapa de sus garras, los movimientos del gato se encaminan de nuevo a volver a capturarlo.

De todos los ejemplos de “regeneración conductual”, la similitud con la regeneración morfogenética resulta más evidente en el caso de la “conducta morfogenética”, ligada a la creación de nidos y otras estructuras características. Hay ocasiones en los que los animales reparan estas estructuras apenas se dañan, como sucede, por ejemplo, cuando las avispas del barro se aprestan a llenar los agujeros que el experimentador ha hecho en las paredes de su celda de barro, apelando, para ello, a acciones que jamás llevaron a cabo cuando, por vez primera, construyeron esas celdas.²⁷ Y las termitas, por su parte, reparan los problemas estructurales de sus galerías y nidos gracias a las actividades coordinadas y cooperativas de muchos insectos individuales.²⁸

Este tipo de actividades se ha interpretado, en ocasiones, como una prueba de inteligencia, arguyendo que los animales que se atienen a una conducta instintiva rígida y fija son incapaces de responder con tanta flexibilidad a situaciones poco usuales.²⁹ Pero, por la misma razón, podríamos calificar como inteligente la regulación de los embriones de erizo de mar o la regeneración de los platelmintos. Sin embargo, esa extrapolación de la terminología psicológica no aclara las cosas, sino que, por el contrario, las confunde más. La hipótesis de la causación formativa permite reconocer también estas similitudes, pero las interpreta de otro modo. Consideradas sobre el trasfondo de la regulación morfogenética y de la regeneración, la capacidad de los animales de alcanzar objetivos conductuales inusuales no requiere principios fundamentalmente nuevos. Y cuando, en animales superiores, determinados tipos de conducta dejan de atenerse a las creodas estándares

—cuando la regulación conductual se convierte, por decirlo en otras palabras, en la regla, en lugar de la excepción—, esta flexibilidad puede ser considerada como una extensión de las posibilidades inherentes a la misma naturaleza de los campos morfogenéticos y motores.

9.9. CAMPOS MÓRFICOS

Los campos morfogenéticos organizan la morfogénesis, los campos motores organizan el movimiento, los campos conductuales organizan la conducta y los campos sociales organizan las sociedades. Estos campos se hallan jerárquicamente organizados, lo que significa que los campos sociales incluyen y organizan los campos conductuales de los animales dentro de la sociedad; que los campos conductuales de los animales organizan sus campos motores y que los campos motores dependen, para su actividad, de los sistemas nerviosos y de los cuerpos del animal organizados por los campos morfogenéticos.

Hay diferentes tipos de “campo mórfico”, un término genérico que se refiere a toda clase de campos que tienen una memoria inherente establecida por resonancia mórfica con sistemas similares anteriores. Los campos morfogenéticos, motores, conductuales y sociales son, todos ellos, campos mórficos y son esencialmente habituales.

10. INSTINTO Y APRENDIZAJE

10.1. LA INFLUENCIA DE LAS ACCIONES ANTERIORES

Como sucede con los campos morfogenéticos, los campos conductuales dependen, por resonancia mórfica, de sistemas anteriores similares. Hablando en términos generales, la estructura detallada de un animal y las pautas de actividad oscilatoria de su sistema nervioso se asemejarán más a ese *mismo* animal que a cualquier otro. Así pues, la resonancia mórfica más concreta que actúe sobre él será la procedente de su propio pasado (véase lo que, al respecto, comentábamos en la sección 6.5). La siguiente resonancia mórfica más específica procederá de animales genéticamente similares que vivieron en el mismo entorno y la más inespecífica de aquellos que vivieron en entornos diferentes. Según el modelo de valles de la creoda (véase figura 5), esta última resonancia mórfica estabilizará el perfil general del valle, mientras que aquélla determinará la topología detallada del fondo del valle.

El "perfil" del valle creódico depende del grado de semejanza existente entre la conducta de animales de la misma raza o especie. Si sus pautas de movimiento presentan pocas variaciones, la resonancia mórfica dará lugar a creodas profundas y estrechas, representadas por valles cortados a pico (figura 28 A). Estas creodas provocarán un profundo efecto de encauzamiento sobre la conducta de los individuos subsiguientes, que tenderán, en consecuencia, a comportarse de

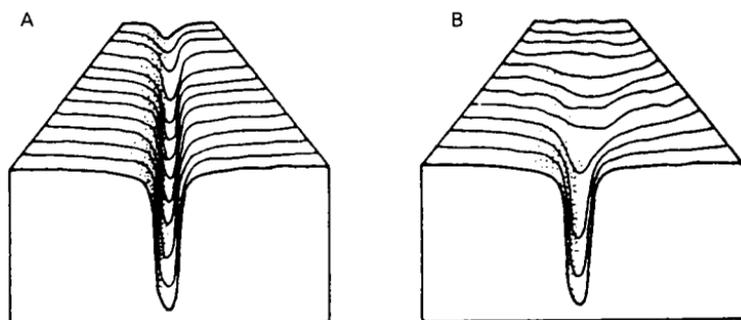


FIGURA 28. Esquema de una creoda muy canalizada (A) y de una creoda que, en sus estadios iniciales, se hallaba poco canalizada (B).

forma muy similar. Las pautas estereotipadas de movimiento que dichas creodas se presenta, en los niveles infraordenados, en forma de reflejos y, en los niveles supraordenados, en forma de instintos.

Si, por otra parte, animales similares alcanzan la forma final de sus campos conductuales a través de pautas motoras diferentes, las creodas no se hallarán tan bien definidas (figura 28 B) y será, por tanto, más probable la presencia, en la conducta, de diferencias interindividuales. Cuando, no obstante, un determinado animal ha alcanzado, a su modo, el objetivo conductual, su conducta subsiguiente tenderá a encauzarse de la misma manera por resonancia mórfica de sus estados pasados del mismo tipo. Y, cuanto más frecuentemente se repitan estas acciones, más fuerte será la canalización. Y esas creodas individuales características acaban manifestándose en forma de hábitos.

Desde el punto de vista de la hipótesis de la causación formativa, la diferencia existente entre los instintos y los hábitos es tan sólo de grado. Ambos dependen de la resonancia mórfica

fica: aquéllos, de incontables individuos anteriores de la misma especie, y éstos, de estados anteriores del mismo individuo.

Pero ello no significa que los reflejos y los instintos sean ajenos a una morfogénesis que depende de una pauta muy concreta del sistema nervioso, porque tal cosa ciertamente ocurre. Ni tampoco queremos decir que, durante el proceso de aprendizaje, no tengan lugar cambios físicos o químicos en el sistema nervioso que faciliten la repetición de una pauta de movimiento. Quizás en el caso de sistemas nerviosos muy sencillos que realizan funciones estereotipadas, la posibilidad de dichos cambios se halle "integrada" en la "circuitería" y el aprendizaje se lleve, en consecuencia, a cabo de un modo casi mecánico. La estructura del sistema nervioso del caracol *Aplysia*, por ejemplo, es muy parecida en los diferentes individuos, hasta el punto de coincidir casi exactamente en detalles muy puntuales de la disposición de las sinapsis excitadoras e inhibitoras de determinadas células. En lo que respecta a la conexión con el reflejo de repliegue de sus cuernos en la cavidad del manto, se producen tipos muy sencillos de aprendizaje, especialmente en lo que respecta a la habituación a estímulos inofensivos y a la sensibilización a estímulos perjudiciales. Por ello la actividad de determinadas sinapsis excitadoras e inhibitoras que actúan sobre células nerviosas individuales cambian de un modo definido.¹ Este tipo de cambios en las células nerviosas reciben el nombre de "potenciación a largo plazo".² Obviamente, la mera descripción de estos procesos no pone de relieve, en sí misma, las causas de tales cambios, que, por el momento, se mantienen en el terreno de la mera conjetura. ¿Cómo se establece, en primer lugar, esta detallada especialización de la estructura y función en los nervios y en las sinapsis? De este modo, volvemos de nuevo el problema al dominio de la morfogénesis.

La variabilidad interindividual del sistema nervioso de los animales superiores es mucho mayor —y también mucho más compleja— que la que caracteriza a invertebrados como la *Aplysia*. Aunque son muy pocas las cosas que sabemos sobre el modo en que se mantienen las pautas de conducta aprendidas,³ el conocimiento con el que actualmente contamos parece evidenciar que no existe ninguna explicación sencilla en términos de “rastros” físicos o químicos que se hallen localizados en tal o cual lugar del tejido nervioso.

Numerosos experimentos demuestran que, en el caso de los mamíferos, los hábitos aprendidos perduran aun después de lesionar la corteza cerebral o las regiones subcorticales del cerebro. Además, la pérdida de memoria asociada a una lesión no parece depender tanto de su ubicación como de la masa total de tejido destruido. K.S. Lashley resumió con las siguientes palabras los resultados de centenares de experimentos realizados al respecto:

«No es posible demostrar la ubicación de un engrama aislado de memoria en un lugar definido del sistema nervioso. Es posible que, para el aprendizaje o retención de una determinada actividad, se requieran determinadas regiones, pero las partes de dichas regiones que intervienen son funcionalmente equivalentes.»⁴

Un fenómeno parecido se ha demostrado en el caso de un invertebrado, el pulpo: observaciones sobre la supervivencia de los hábitos aprendidos después de la destrucción de diferentes partes del lóbulo vertical de su cerebro han llevado a la conclusión aparentemente paradójica de que «la memoria está en todas partes, en general, y en ninguna, en particular».⁵

Estos descubrimientos resultan, desde una perspectiva estrictamente mecanicista, muy enigmáticos. En su intento de

explicarlos, el neurocientífico Karl Pribram ha sugerido que los "rastros" de memoria quizás se distribuyan por el cerebro de manera análoga al almacenamiento de información que configura las pautas de interferencia de un holograma.⁶ Pero ese intento de explicación no deja, por ello, de salir del campo de la mera especulación.

La hipótesis de la causación formativa proporciona una interpretación alternativa, a la luz de la cual, la persistencia de los hábitos aprendidos a pesar de las lesiones cerebrales es mucho menos enigmática. Desde esta perspectiva, los hábitos dependen de campos motores que no se almacenan en el cerebro, sino que proceden directamente, por resonancia mórfica, de sus propios estados anteriores.

En las siguientes secciones veremos algunas de las implicaciones de la hipótesis de la causación formativa con respecto al instinto y el aprendizaje y, en el capítulo 11, sugeriremos posibles investigaciones experimentales al respecto.

10.2. EL INSTINTO

En todos los animales hay algunas pautas de actividad motora que no son adquiridas, sino innatas. Las más fundamentales de todas ellas competen a los órganos internos, como el corazón y los intestinos, pero también a muchas de las pautas responsables del movimiento de las patas, las alas y otras estructuras motoras. Esto resulta muy evidente al comprobar la facilidad con la que se mueve el animal que acaba de nacer o de salir del huevo.

No siempre es fácil establecer una clara distinción entre conducta innata y conducta aprendida. En general, la conducta que se desarrolla en animales jóvenes criados en situación de aislamiento puede considerarse innata. Pero lo cierto es que

también hay conductas innatas que sólo aparecen cuando el individuo está en contacto con otros miembros de su especie porque, para poder expresarse, requieren estímulos procedentes de otros animales.

Los estudios realizados en torno a la conducta instintiva llevados a cabo con una amplia variedad de animales han conducido a varias conclusiones generales, que ilustran los conceptos clásicos de la etología⁷ y pasamos a resumir del siguiente modo:

I. Los instintos se organizan atendiendo a una jerarquía de "sistemas" o "centros" superpuestos. Cada uno de ellos se ve primordialmente activado por un sistema que ocupa el nivel supraordenado. El centro más elevado de cada uno de los grandes instintos puede verse afectado por una gran variedad de factores, entre los cuales cabe destacar las hormonas, estímulos sensoriales que se originan en las vísceras del animal y en estímulos procedentes del exterior.

II. La conducta que depende de la influencia de los principales instintos suele estar compuesta por cadenas de pautas conductuales más o menos estereotipadas, llamadas *pautas de acción fija*. Cuando una de estas pautas de acción fija constituye el punto final de una cadena de conducta instintiva mayor o menor, se denomina *acto consumatorio*. La conducta de la primera parte de una cadena instintiva de conducta como, por ejemplo, la búsqueda de alimento puede ser más flexible y suele denominarse *conducta apetitiva*.

III. Cada sistema necesita, para verse activado o *disparado*, la presencia de un estímulo concreto. Ese estímulo o disparador puede proceder del interior del cuerpo del animal o del entorno, en cuyo caso se conoce con el nombre de *estímulo*

signo. Se supone que un determinado desencadenante o estímulo signo actúa sobre un mecanismo neurosensorial concreto, denominado *mecanismo disparador innato*, que moviliza la reacción.

Estos conceptos concuerdan con las nociones de campo conductual y campo motor que hemos presentado en el capítulo anterior. Las pautas de acción fija pueden ser entendidas, en este sentido, como creodas y los mecanismos disparadores innatos como las estructuras germinales de los campos motores apropiados.

10.3. EL ESTÍMULO SIGNO

Las respuestas instintivas de los animales a los estímulos signo ponen de relieve que, de algún modo, abstraen de su entorno ciertos rasgos concretos y repetibles:

«Un animal responde "ciegamente" a una parte de la situación medioambiental global, al tiempo que desatiende a todas las demás, aunque sus órganos sensoriales sean perfectamente capaces de registrarlas [...]. Estos estímulos eficaces pueden detectarse fácilmente corroborando la respuesta a diferentes situaciones que sólo difieren en uno u otro de los posibles estímulos. Además, aun cuando un determinado órgano sensorial está implicado en disparar una determinada acción, sólo una parte del estímulo que puede recibir es realmente eficaz. Hablando en términos generales, la reacción instintiva responde a muy pocos estímulos y la mayor parte de la influencia del medio tiene, al respecto, poca o ninguna influencia, aunque el animal pueda disponer del equipamiento sensorial necesario para registrar numerosos detalles.»⁸

Veamos ahora varios ejemplos que ilustran perfectamente estos principios.⁹

La reacción agresiva del pez espinoso macho ante otros espinosos macho durante la época de reproducción se ve fundamentalmente activada por el estímulo-signo de los flancos rojos. Cuando se utilizan modelos de forma poco definida, pero con los flancos rojos, el ataque de los espinosos es mucho más violento que cuando se utilizan modelos de forma bien definida, pero sin la coloración roja en los flancos. Similares resultados se observan también en experimentos realizados con petirrojos. Un macho que defiende su territorio amenaza a cualquier modelo que tenga el pecho rojo o a un simple manojito de plumas rojas, pero reacciona de forma mucho menos agresiva ante modelos que no tienen el pecho de color rojo.

Los patos y gansos jóvenes reaccionan instintivamente a la aproximación de un ave de rapiña en función de la forma del pájaro volando. Estudios realizados al respecto con modelos de cartón han demostrado que el rasgo más importante en este sentido no consiste tanto en el tamaño o la forma de las alas y de la cola, cuya importancia demuestra ser muy pequeña, sino en el hecho de tener el cuello corto, un rasgo distintivo de los halcones y otras aves de presa.

En ciertas polillas, el olor sexual o feromona que habitualmente emiten las hembras lleva a los machos a copular con cualquier objeto que lo desprenda.

Los machos de las cigarras de la especie *Ephippiger ephippiger* atraen con una canción a las hembras que desean aparearse. De este modo, las hembras se ven atraídas por los machos que cantan a distancias considerables, pero ignoran, no obstante, a los que no cantan, por más cercanos que se encuentren. Por ello aquellos machos a los que, por ejemplo, se encolan las alas, impidiéndoles así cantar, son incapaces de atraer a ninguna hembra.

Las gallinas acuden a salvar a sus polluelos en respuesta a su llamada de socorro, pero no lo hacen si sólo los ven en peligro a través de un cristal a prueba de sonidos.

El reconocimiento de estos estímulos signo depende, según la hipótesis de la causación formativa, de la resonancia mórfica de animales parecidos que en el pasado se hayan visto expuestos a estímulos similares. Esta resonancia pone únicamente de relieve, a través del proceso de promediado automático, los rasgos comunes de las pautas espacio-temporales de actividad originadas por estos estímulos en el sistema nervioso. Como resultado, se abstraen determinados estímulos del entorno, mientras que otros se ven ignorados. Consideremos, por ejemplo, que los estímulos actúan sobre las gallinas cuyos polluelos se encuentran en peligro. E imaginemos, para ello, una serie de fotografías, tomadas en diferentes ocasiones, de polluelos en situación de peligro. Las fotografías que se tomen de noche no mostrarán nada; las que se tomen de día mostrarán polluelos de diferente tamaño y forma vistos desde delante, desde atrás, desde los lados y desde arriba. Además, pueden estar cerca de otros objetos de cualquier forma y tamaño o incluso detrás de ellos. La superposición de los negativos de todas estas fotografías nos proporcionará una imagen compuesta cuyo resultado sea sencillamente una mancha, sin subrayar ningún rasgo en particular. Pero si, por el contrario, imaginamos una serie de grabaciones realizadas en el mismo momento en que se tomaron las fotografías, todas ellas registran la llamada de peligro y su superposición acaba promediándola y reforzándola. Esta superposición de fotografías y grabaciones es análoga al efecto de resonancia mórfica que el sistema nervioso de gallinas anteriores tiene sobre una gallina posterior expuesta a los estímulos procedentes de un polluelo en peligro. Independientemente de lo patético que, a los ojos de un observador humano,

pueda resultar la situación, los estímulos visuales, a diferencia de los auditivos, no provocan, en las gallinas, ninguna resonancia específica y tampoco desencadenan, en consecuencia, reacción instintiva alguna.

Este ejemplo ilustra perfectamente lo que parece ser un principio general y es que las *formas* son a menudo ineficaces como estímulo signo. Y la razón más probable para ello es que son muy variables, porque dependen mucho de la perspectiva desde la que se contemplan. La percepción de los colores, por el contrario, depende muchísimo menos de la perspectiva, cosa que apenas sí afecta a los sonidos y los olores. Resulta muy significativo también, en este sentido, que los colores, los sonidos y los olores desempeñen un papel muy importante como liberadores de reacciones instintivas y que, en las contadas ocasiones en que la forma se muestra como un disparador eficaz, existe una cierta constancia del punto de vista. Los polluelos que se encuentran en el suelo, por ejemplo, ven la silueta de los grandes rapaces que vuelan sobre sus cabezas y responden a dichas formas. Y, cuando las formas o pautas sirven como estímulo signo sexual, tienden a hacerlo en cortejos o “ceremonias” en las que los animales asumen determinadas posturas con respecto a sus posibles parejas. Y lo mismo podríamos decir también con respecto a los despliegues de sumisión y violencia.

10.4. APRENDIZAJE

Bien podríamos decir que el aprendizaje ocurre cuando, como resultado de una experiencia pasada, tiene lugar un cambio adaptativo relativamente permanente en la conducta. Y cabe distinguir, en este sentido, cuatro grandes categorías:¹⁰

I. El tipo más universal, observado incluso en organismos unicelulares,¹¹ es la habituación, que puede definirse como el desvanecimiento de una respuesta como resultado de una estimulación repetida que no va seguida de ningún tipo de refuerzo. Un ejemplo común, en este sentido, nos lo proporciona el debilitamiento de las respuestas de alarma o evitación a nuevos estímulos que demuestran ser inofensivos y a los que el animal, en consecuencia, acaba acostumbrándose.

Este fenómeno implica la existencia de algún tipo de memoria que permite, cuando vuelve a presentarse, reconocer al estímulo. Este reconocimiento se debe fundamentalmente, según la hipótesis de la causación formativa, a la resonancia mórfica del organismo con sus propios estados anteriores, incluidos los provocados por los nuevos estímulos sensoriales. Y esta resonancia sirve para mantener y definir también, en última instancia, la identidad del organismo consigo mismo en el pasado (véase sección 6.5). Los estímulos ambientales repetidos cuya respuesta no se ve reforzada acaban convirtiéndose en parte del propio "trasfondo" del organismo. Los rasgos nuevos del entorno, por el contrario, destacan por el hecho de no ser reconocidos. Y es precisamente esta falta de familiaridad la que lleva al animal a responder con evitación o alarma.

En el caso de ciertas respuestas estereotipadas, como el repliegue reflejo del cuerno del caracol *Aplysia*, la habituación puede ocurrir de un modo casi mecánico debido a alguna especialización estructural o bioquímica previa del sistema nervioso (véase sección 10.1). En tal caso, sin embargo, la especialización es secundaria y probablemente haya evolucionado a partir de una situación en la que la habituación dependía más directamente de la resonancia mórfica.

II. En la medida en que el individuo crece, aparecen, en todos los animales, pautas innatas de actividad motora. Y si bien algunas se realizan perfectamente en la primera ocasión, otras, por el contrario, van mejorando con el paso del tiempo. Es posible que las primeras tentativas de volar del polluelo o de caminar del joven mamífero, por ejemplo, tengan un éxito parcial que va mejorando, no obstante, en repetidas ocasiones. Pero no todas esas mejoras se deben a la práctica, ya que, en algunos casos, es una simple cuestión de maduración cuya ocurrencia depende en exclusiva, aun en animales que se han visto inmovilizados, del simple paso del tiempo.¹² Pero hay muchos tipos de actividad motora que mejoran de un modo que no puede atribuirse sólo a la simple maduración.

Desde el punto de vista de la hipótesis de la causación formativa, este tipo de aprendizaje puede interpretarse en términos de regulación conductual. La resonancia mórfica de innumerables miembros anteriores de la misma especie da lugar a una creoda automáticamente promediada, que gobierna las primeras tentativas del animal de llevar a cabo una pauta innata de movimiento. Y es probable que esta creoda estándar dé lugar tan sólo a resultados relativamente satisfactorios, debido, por ejemplo, a desviaciones de la norma de los órganos sensoriales, del sistema nervioso o de las estructuras motoras del animal. En la medida en que los movimientos se llevan a cabo, la regulación llevará de forma automática a cabo los "ajustes" necesarios en la creoda global y en las creodas infraordenadas que se hallan sujetas a su control. Y estas creodas "ajustadas" acaban estabilizándose, en la medida en que se repite la misma pauta de conducta, por resonancia mórfica, con los estados anteriores del animal.

III. Es posible que los animales respondan a un estímulo con una reacción habitualmente elicitada por un estímulo diferen-

te. Este tipo de aprendizaje tiene lugar cuando el nuevo estímulo se aplica de manera simultánea o inmediatamente previa al estímulo original. El ejemplo clásico en este sentido es el "reflejo condicionado" establecido en perros por I.P. Pavlov. Los perros, por ejemplo, salivan en el momento en que se les ofrece comida. Después de repetidas ocasiones en las que, cada vez que se les mostraba comida, se hacía sonar una campana, el perro empezaba, aun en ausencia de comida, a salivar apenas escuchaba el sonido de la campana.

Un ejemplo extremo de este tipo de aprendizaje ocurre durante el *imprinting* de polluelos, especialmente patos y gansos, que, cuando acaban de salir del huevo, responden instintivamente siguiendo a cualquier objeto móvil más o menos grande. Y aunque por lo general ese objeto suela ser la madre, también siguen a madres adoptivas, seres humanos y hasta objetos inanimados que se ven arrastrados ante ellos. Transcurrido cierto tiempo, reconocen los rasgos generales del objeto y más tarde los rasgos concretos. Entonces es cuando sólo el pájaro, la persona o el objeto que haya quedado así "estampado" elicitaba la respuesta de seguimiento.

De manera parecida, los animales suelen aprender a reconocer los rasgos individuales de su pareja o de sus crías gracias a la vista, el oído, el olfato o el tacto. Este reconocimiento requiere su tiempo: por ejemplo, un par de fochas cuyos polluelos recién acaban de salir del huevo alimentan e incluso llegan a adoptar polluelos extraños de aspecto parecido, pero, al cabo de un par de semanas, reconocen individualmente a sus crías y no toleran la presencia de ningún extraño, por más que se les parezca.¹³

Es muy probable que un proceso semejante sea el responsable del reconocimiento de determinados lugares, como el emplazamiento de los nidos, mediante hitos de referencia u otras características asociadas. Este tipo de aprendizaje, de

hecho, parece desempeñar, hablando en términos generales, un papel importante en el desarrollo del reconocimiento visual. Dado que los estímulos de un objeto difieren según la perspectiva desde la que se los contempla, el animal debe aprender, de algún modo, que todos ellos están relacionados con el mismo objeto. Y la asociación de diferentes tipos de estímulos sensoriales procedentes del mismo objeto —visuales, auditivos, olfativos, gustativos y táctiles— también suelen aprenderse del mismo modo.

Podría parecer a primera vista que, cuando los nuevos estímulos se presentan simultáneamente a los estímulos originales, las pautas de cambio físico y químico inducidas en el cerebro van relacionándose poco a poco con una intensidad que depende de la frecuencia de su repetición. Pero esta interpretación aparentemente tan sencilla tropieza con dos dificultades. En primer lugar, podría ser que los nuevos estímulos no discurren de forma simultánea al estímulo normal, sino que lo precediesen. En este caso, parece necesario suponer que la influencia del estímulo persiste durante un rato, de manera que todavía está presente cuando se presenta el estímulo normal. Podríamos pensar en este tipo de memoria como un eco que va desvaneciéndose de manera gradual. La memoria a corto plazo es un dato empíricamente corroborable¹⁴ que podría explicarse en teoría en términos de circuitos reverberantes de actividad eléctrica que tienen lugar en el interior del cerebro.¹⁵

En segundo lugar, el aprendizaje asociativo parece discurrir de un modo claramente discontinuo y se produce, en consecuencia, en estadios o fases. Ello podría deberse al hecho de que el vínculo existente entre el estímulo nuevo y el estímulo original implica el establecimiento de un nuevo campo motor: el campo responsable de la respuesta original debe, de algún modo, verse ampliado para permitir incorporar, de ese

modo, el nuevo estímulo. En efecto, se produce una *síntesis* que origina una nueva unidad motora. Y una nueva unidad no puede emerger gradualmente, sino a través de un "salto cuántico" repentino (o de varios "saltos" sucesivos).

IV. Además de aprender a responder a un determinado estímulo *después* de recibirlo, los animales también pueden aprender a comportarse de modo que alcancen un objetivo como *resultado* de sus actividades. Éste es, en el lenguaje de la escuela conductista, un tipo de aprendizaje conocido con el nombre de "condicionamiento operante", en el que la respuesta "emitida" por el animal precede al estímulo que la refuerza. El ejemplo clásico en este sentido nos lo proporcionan las "cajas de Skinner" para ratas. En el interior de esas cajas hay una palanca que, al ser presionada, libera una bolita de comida. Después de repetidos intentos, las ratas aprenden a asociar el hecho de presionar la palanca con la recompensa. Y, de manera parecida, también pueden aprender a presionar una palanca para evitar, de ese modo, el estímulo doloroso provocado por una descarga eléctrica.

Hablando en términos generales, la asociación de determinadas pautas de movimiento con una recompensa o con la evitación de algún castigo parece producirse como resultado de un proceso de ensayo y error. Pero se ha demostrado que los primates, especialmente los chimpancés, poseen una inteligencia de orden superior. En unos famosos experimentos que se realizaron hace ya cincuenta años, W. Köhler descubrió que estos simios eran capaces de solucionar problemas de un modo "intuitivo".¹⁶ Para ello colocaba, por ejemplo, unos chimpancés en un recinto de cuyo techo colgaba un racimo de plátanos maduros, demasiado altos para poder ser alcanzados y cuyas paredes no podían escalar. Después de varios intentos infructuosos de conseguir su objetivo irguíen-

dose sobre sus patas traseras o saltando, dejaban de intentarlo. Al cabo de un rato, uno de los simios observó unas cajas de madera que, al comienzo de la prueba, los experimentadores habían introducido en el recinto y luego observaba los plátanos. A continuación acercó una de las cajas, la colocó debajo de los plátanos y se subió encima. Y, como seguía sin alcanzarlos, colocó una caja sobre la anterior y siguió así hasta que, al tercer intento, consiguió coger los plátanos.

Otros investigadores han descubierto posteriormente la existencia de muchos otros casos de conducta intuitiva. En uno de ellos, por ejemplo, los chimpancés aprendían a utilizar un palo para acercar comida ubicada fuera de la jaula. Y ese aprendizaje era más rápido si, unos cuantos días antes, se les dejaba jugar con el palo, tiempo necesario para aprender a utilizarlo como una extensión funcional de sus brazos. El uso, por tanto, del palo para acercar la comida representaba «la integración de componentes motores adquiridos durante una experiencia anterior con pautas de conducta nuevas y adecuadas».¹⁷

Tanto en el aprendizaje de “ensayo y error” como en el aprendizaje “intuitivo”, las creodas existentes acaban integrándose en campos motores nuevos y supraordenados. Y esta síntesis sólo puede ocurrir debido a “saltos” repentinos. Si las nuevas pautas de conducta resultan adecuadas, tienden a repetirse. De ahí que los nuevos campos motores se establezcan por resonancia mórfica en la medida en que la conducta aprendida va convirtiéndose en una conducta habitual.

10.5. TENDENCIAS INNATAS DEL APRENDIZAJE

La originalidad del aprendizaje puede ser absoluta. Con ello no sólo queremos subrayar la posibilidad de que, en un deter-

minado individuo, aparezca un nuevo campo motor, sino que se trate de un aprendizaje que aparece por primera vez en la historia. Por otra parte, sin embargo, un animal puede aprender algo que ya hayan aprendido, en el pasado, otros miembros de su especie. En este caso, la emergencia del campo motor puede verse facilitada por resonancia mórfica con animales similares anteriores. Si un campo motor se consolida, en muchos individuos, a través de la repetición, es posible que el aprendizaje sea cada vez más fácil, en cuyo caso, existirá una gran predisposición innata a adquirir esa pauta concreta de conducta.

Así pues, la repetición frecuente de una conducta aprendida tiende a convertirse en una conducta semiinstintiva. Y la conducta instintiva también puede acabar convirtiéndose, a través del proceso inverso, en una conducta semiaprendida. El canto de los pájaros ilustra claramente la intergradación existente entre la conducta instintiva y la conducta aprendida.¹⁸ En algunas especies, como la paloma torcaz y el cuco, por ejemplo, la pauta del canto es casi completamente innata y difiere muy poco entre un individuo y otro. Pero en otras especies, como, por ejemplo, el pinzón, el canto posee una estructura general propia de la especie, aunque existen muchas diferencias interindividuales de detalle que pueden ser reconocidas por otros pájaros y desempeñan un importante papel en la vida familiar y social. Los pájaros que crecen en situación de aislamiento desarrollan versiones simplificadas y monótonas del canto de su especie, lo que demuestra la existencia de una pauta general innata. En condiciones normales, sin embargo, desarrollan y mejoran su canto imitando a otros pájaros de su clase. Y este proceso va mucho más allá en el caso de los sinsontes, por ejemplo, que llegan a reproducir elementos procedentes de los cantos de otras especies. Y, como todo el mundo sabe, hay algunos tipos de pájaros, como

los loros y los minás, que, en condiciones especiales de cautividad, llegan a imitar a sus padres adoptivos humanos.

La falta de variabilidad individual de las especies cuyo canto es casi completamente innato es tanto un efecto como una causa de creodas motoras muy definidas y estabilizadas (véase en este sentido, la figura 28 A). Y es que, cuantas más veces se repita la misma pauta de movimiento, mayor será su tendencia, en el futuro, a repetirse. En aquellas especies cuyo canto muestre diferencias individuales, la resonancia mórfica dará lugar a creodas menos definidas (véase la figura 28 B). En este caso, la estructura general de la creoda vendrá dada por el proceso de promediado automático, aunque los detalles concretos dependerán de cada individuo. Y la pauta de movimientos que ejecuta un pájaro cuando canta por vez primera influirá en sus cantos posteriores, debido a la especificidad de la resonancia mórfica con sus propios estados anteriores. De este modo, mediante la repetición su patrón de canto característico se convertirá en habitual, intensificando y estabilizando así sus creodas.

11. HERENCIA Y EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTA

11.1. LA HERENCIA DE LA CONDUCTA

La herencia de la conducta depende, según la hipótesis de la causación formativa, de la herencia genética, de los campos morfogenéticos que controlan el desarrollo del sistema nervioso y del animal en su conjunto y de los campos conductuales y motores originados por resonancia mórfica de animales similares anteriores. Según la teoría convencional, por el contrario, la conducta innata está “programada” en el ADN.

Aunque son pocos los experimentos realizados sobre la herencia de la conducta debido, fundamentalmente, a las dificultades de cuantificación que entraña, son varios, sin embargo, los intentos que, en este sentido, se han realizado. Existen, al respecto, experimentos con ratas y ratones que han medido, por ejemplo, la conducta en términos de la velocidad de giro de sus norias, de la frecuencia y duración de la actividad sexual, de las puntuaciones de defecación, definidas por el número de bolas defecadas por unidad de tiempo en una determinada superficie, de la capacidad de aprender a salir de un laberinto y de la susceptibilidad a la agresión audiogénica provocadas por ruidos muy intensos. Y el componente hereditario de estas respuestas se ha estudiado criando animales de alta o baja puntuación, poniendo de relieve la tendencia de la progenie a tener puntuaciones semejantes a las de sus progenitores.¹

El problema de este tipo de investigaciones es que revelan muy poco sobre la herencia de las pautas conductuales. Además, los resultados se hallan expuestos a la influencia de factores muy diversos y resultan, por tanto, difíciles de interpretar. Una baja velocidad de giro de la noria o una reducida frecuencia de apareamiento, por ejemplo, puede deberse simplemente a una reducción general del vigor provocada por una deficiencia metabólica heredada.

Hay ocasiones en las que se ha investigado con relativo detalle las razones de alteraciones genéticas de la conducta. Algunos mutantes del pequeño gusano nematodo *Caenorhabditis* que se mueven anormalmente presentan cambios estructurales del sistema nervioso,² mientras que, en el caso de la *Drosophila*, se han observado la presencia de "mutaciones conductuales" que impiden una respuesta normal a la luz y afectan también a los fotorreceptores y a las neuronas visuales periféricas.³ También se sabe que ciertas mutaciones que afectan a la morfogénesis del sistema nervioso de los ratones provocan alteraciones en regiones enteras del cerebro. Varias anormalidades congénitas del sistema nervioso del ser humano se hallan ligadas a una conducta anormal, como ilustra, por ejemplo, el síndrome de Down. Y la conducta también puede verse afectada por defectos fisiológicos y bioquímicos heredados como, por ejemplo, en el caso del ser humano, la fenilcetonuria, una enfermedad asociada al retraso mental y provocada por una deficiencia en la enzima fenilalanina hidroxilasa.

Pero el hecho de que la conducta innata se vea afectada por alteraciones genéticas en la estructura y función de los órganos de los sentidos, del sistema nervioso, etc. no demuestra, no obstante, que su herencia pueda explicarse en función de factores estrictamente genéticos. Lo único que demuestra es que, para desarrollar una conducta normal, se necesita un

cuerpo normal. Ilustrando de nuevo este punto con la analogía proporcionada por la radio, diríamos que, aunque los cambios efectuados en el interior del aparato afectan a su funcionamiento, ello no demuestra que la música emitida por los altavoces se origine en el interior del aparato.

Los cambios bioquímicos, fisiológicos y anatómicos pueden obstaculizar la aparición, en la conducta, de estructuras germinales, impidiendo así la actuación de campos motores enteros o pueden ejercer varios efectos cuantitativos sobre los movimientos controlados por estos campos. En realidad, los experimentos realizados sobre la herencia de pautas de acción fija demuestran que «no es difícil encontrar variaciones que modifiquen levemente el desempeño, pero, en el caso de que la unidad continúe apareciendo, sigue presentando una forma claramente identificable».⁴

Es muy probable que la herencia de campos conductuales y motores dependa de factores que ya hemos discutido al referirnos a la herencia de los campos morfogenéticos (véase capítulo 7). En el caso de híbridos entre dos razas o entre dos especies, la dominancia, hablando en términos generales, entre los campos motores de uno de los tipos parentales sobre los del otro parece depender de la intensidad relativa de su resonancia mórfica (véase, al respecto, la figura 19). Si un individuo pertenece a una raza o especie bien establecida, mientras que el otro pertenece a una especie o raza relativamente nueva y con una población anterior pequeña, cabe esperar que predominen los campos motores propios de la primera. Pero si ambas razas o especies se hallan claramente asentadas, cabe esperar que los híbridos se hallen sometidos a una influencia semejante de ambas razas o especies.

Y esto es, de hecho, lo que parece ocurrir. En algunos casos, los resultados son raros, porque las pautas conductuales de los tipos parentales resultan incompatibles. Los híbridos

obtenidos al cruzar dos clases de periquitos nos proporcionan, en este sentido, un buen ejemplo. Ambas especies parentales hacen su nido con tiras de hojas que desgarran de un modo peculiar, pero mientras que una (el periquito de Fischer) lleva en el pico las tiras hasta el nido, la otra (el periquito cabecirrojo) las lleva entre las plumas. Los híbridos desgarran las hojas con normalidad, pero se comportan de un modo confuso, llevando, en ocasiones, las tiras en el plumaje y, en otras, en el pico; pero aunque las lleven en el pico, levantan las plumas de la parte trasera inferior para intentar recogerlas.⁵

11.2. LA RESONANCIA MÓRFICA Y LA CONDUCTA. UNA PRUEBA EXPERIMENTAL

La biología mecanicista establece una clara distinción entre la conducta innata y la conducta aprendida. Se supone que la primera está “genéticamente programada” o “codificada” en el ADN, mientras que la segunda es el resultado de cambios físicos y químicos que tienen lugar en el sistema nervioso. Como no hay forma alguna de que dichos cambios modifiquen el ADN (como requiere la teoría lamarckiana), se considera imposible, en consecuencia, que la conducta aprendida por un animal pueda ser heredada por su descendencia (exceptuando, por cierto, el caso de la “herencia cultural”, mediante la cual los descendientes aprenden pautas de conducta de sus progenitores).

Desde la perspectiva proporcionada por la hipótesis de la causación formativa, sin embargo, no existen diferencias de tipo entre la conducta innata y la conducta aprendida, por cuanto que ambas dependen de campos motores originados por resonancia mórfica (véase sección 10.1). Esta hipótesis admite, por tanto, la posibilidad de que la conducta aprendida

se transmita de un animal a otro y ofrece predicciones demostrables que no sólo difieren de las predicciones de la teoría ortodoxa de la herencia, sino también de las proporcionadas por la visión lamarckiana.

Consideremos ahora el siguiente experimento. Coloquemos animales de una cepa endogámica en condiciones en que aprendan a responder de manera concreta a un determinado estímulo. Luego hagámosles repetir muchas veces esta pauta de conducta. El nuevo campo motor, según la hipótesis, se verá reforzado por resonancia mórfica, lo que no sólo convertirá en habitual la conducta de los animales enseñados, sino que afectará también, aunque de un modo ciertamente menos concreto, a cualquier animal parecido que se exponga a un estímulo similar. Y, cuanto mayor sea el número de animales que antes hayan aprendido esta tarea, más fácil le resultará aprenderla a los animales posteriores. Un experimento de este tipo pondría, por tanto, de relieve un aumento progresivo de la tasa de aprendizaje no sólo de los descendientes de progenitores adiestrados, sino también de animales genéticamente similares que descendiesen de progenitores no adiestrados. Ésta es una predicción que difiere de la teoría lamarckiana, según la cual, la mayor tasa de aprendizaje sólo afectaría a los descendientes de los animales adiestrados. Y, según la teoría convencional, no habría aumento en la tasa de aprendizaje de los descendientes de los animales no adiestrados *ni* en la de los descendientes de los animales adiestrados.

El aumento de la tasa de aprendizaje de sucesivas generaciones tanto de las líneas adiestradas como no adiestradas respaldaría, pues, la hipótesis de la causación formativa; el aumento exclusivo en la línea de los animales adiestrados corroboraría la tesis lamarckiana y la falta de presencia de cualquier aumento en la tasa de la velocidad de aprendizaje supondría un punto en favor de la teoría ortodoxa.

Los experimentos que, en este sentido, se han realizado, parecen apoyar la hipótesis de la causación formativa.

William McDougall fue quien emprendió, en 1920, en Harvard, el experimento original, con la expectativa de llegar a demostrar experimentalmente la veracidad de la herencia lamarckiana. Los animales utilizados en ese caso eran ratas blancas de la cepa Wistar, cuyos progenitores llevaban muchas generaciones cruzándose endogámicamente en el laboratorio. La tarea que debían aprender consistía en escapar de un tanque de agua especialmente diseñado nadando hasta uno de los dos pasillos que le permitían salir del agua. El pasillo "erróneo" se hallaba iluminado, cosa que no sucedía con el pasillo "correcto". Si la rata salía por el pasillo iluminado recibía una descarga eléctrica. Los dos pasillos se iluminaban alternativamente, uno en una ocasión y el otro en la siguiente. El número de errores cometidos por una rata antes de aprender a salir del tanque a través del pasillo no iluminado constituía la medida de su velocidad de aprendizaje:

«Algunas ratas requerían 330 inmersiones, sufriendo aproximadamente la mitad de las descargas, antes de aprender a evitar el pasillo iluminado. En todos los casos, el proceso de aprendizaje alcanzaba repentinamente un punto crítico. Durante mucho tiempo el animal mostraba una clara aversión hacia el pasillo iluminado, dudando a menudo antes de entrar en él, retrocediendo o emprendiendo una desesperada carrera para atravesarlo. Pero, al no entender la sencilla correlación existente entre la luz y la descarga, seguía tomando ambos pasillos con la misma frecuencia. Finalmente, llegaba un punto en que, al encontrarse ante el pasillo iluminado, retrocedía con decisión, buscaba el otro pasillo y salía tranquilamente por el que estaba oscuro. Llegados a este punto,

ningún animal incurría en el error, salvo en contadas ocasiones, de tomar de nuevo el pasillo iluminado».⁶

Las ratas de cada generación elegidas para participar en el experimento se veían seleccionadas al azar *antes* de medir su velocidad de aprendizaje, aunque el apareamiento sólo tenía lugar superada la prueba. Este procedimiento se vio adoptado para evitar cualquier posibilidad de selección consciente o inconsciente de las ratas que aprendían con mayor rapidez.

El experimento prosiguió durante treinta y dos generaciones y se necesitaron quince años para concluirlo. De acuerdo con la teoría lamarckiana, se observó una marcada tendencia de las ratas de sucesivas generaciones a aprender con mayor rapidez, que se reflejaba en el número promedio de errores cometidos por las ratas de las ocho primeras generaciones, unos 56, que contrastaba mucho con los 41, 29 y 20 del segundo, tercer y cuarto grupos, respectivamente.⁷ Se trataba de una diferencia palpable, tanto cuantitativamente como en lo que respecta a la conducta real de las ratas, que se volvieron más cautelosas y vacilantes en las últimas generaciones.⁸

McDougall se anticipó a las críticas que pudiera recibir avanzando la posibilidad de que, pese a la selección aleatoria de los progenitores en todas las generaciones, se hubiese infiltrado algún tipo de sesgo en favor de las ratas que aprendían con más rapidez. Fue precisamente para corroborar esta posibilidad que emprendió un nuevo experimento, con un lote diferente de ratas, seleccionando los progenitores en función de su tasa de aprendizaje. En una serie, sólo se elegían ratas de cada generación que aprendían rápidamente y, en la otra, ratas que aprendían más despacio. Tal y como se esperaba, la progenie de las ratas de aprendizaje más rápido y más lento tendían a aprender también de un modo respectivamente más rápido y más lento. Aun en la última serie, sin embargo, el

desempeño de las últimas generaciones mejoraba considerablemente, a pesar de la repetida selección en favor de las ratas más torpes (figura 29).

Aunque los experimentos se llevaron a cabo con tanto cuidado que los críticos fueron incapaces de refutar los resultados aduciendo posibles fallos técnicos, lo cierto es que, a pesar de ello, acabaron descubriendo una flaqueza en el diseño experimental. Porque el caso es que McDougall no deter-

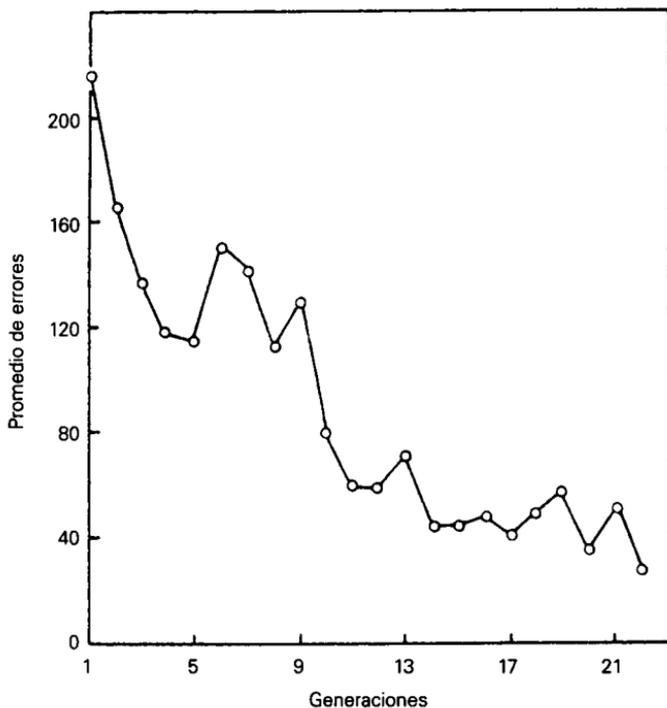


FIGURA 29. *Número medio de errores en generaciones sucesivas de ratas seleccionadas, en cada caso, por la lentitud de su aprendizaje (McDougall, 1938).*

minó sistemáticamente el cambio en la tasa de aprendizaje de la ratas cuyos progenitores no habían sido adiestrados.

Uno de estos críticos, F.A.E. Crew, de la Universidad de Edimburgo, repitió el experimento de McDougall con ratas procedentes de la misma cepa endogámica, utilizando un tanque de diseño similar. Y, para ello, incluyó una línea paralela de ratas "no adiestradas". En cada generación se determinó la tasa de aprendizaje de algunas de ellas, mientras que otras, que no habían sido estudiadas, sirvieron como progenitores de la siguiente. Durante las dieciocho generaciones que duró este experimento, Crew no advirtió la presencia de ningún cambio sistemático en la tasa de aprendizaje en la línea de las ratas adiestradas y en la de las no adiestradas.⁹ Y aunque, al comienzo, los resultados de Crew parecían cuestionar seriamente los descubrimientos de McDougall, no podían compararse directamente por tres razones fundamentales. En primer lugar, parecía, por algún motivo, que sus ratas aprendían mucho más rápidamente en su experimento que en las versiones anteriores del experimento dirigidas por McDougall. Y el efecto era tan pronunciado que un número considerable de ratas, tanto de la línea de las ratas adiestradas como de las no adiestradas, acabaron "aprendiendo" la tarea de inmediato ¡sin recibir una sola descarga! Las puntuaciones promedio de las ratas de Crew al comienzo del experimento eran similares a las de las ratas de McDougall después de más de treinta generaciones de aprendizaje, una discrepancia de la que ni Crew ni McDougall pudieron dar una explicación satisfactoria. Pero, como señaló McDougall, un experimento en el que algunas ratas no habían recibido ningún entrenamiento y muchas otras recibieron muy poco no parecía adecuado para demostrar la presencia de algún efecto del aprendizaje sobre las generaciones posteriores.¹⁰ En segundo lugar, los resultados de Crew pusieron de relieve la pre-

sencia, entre una generación y la siguiente, de fluctuaciones tan superiores a las de los resultados de McDougall que cualquier tendencia a mejorar en las puntuaciones de las generaciones posteriores podía quedar perfectamente oscurecida. En tercer lugar, Crew adoptó el método de maximizar los cruces endogámicos cruzando tan sólo, en cada generación, hermanos con hermanos. No suponía que esto pudiese tener efectos adversos porque, para empezar, las ratas procedían de una línea consanguínea:

«La historia de mis ratas parece un experimento sobre endogamia. Existe una amplia base de líneas familiares y un vértice, muy estrecho, compuesto tan sólo por dos líneas. La tasa reproductiva disminuye y se extingue línea tras línea».¹¹

Hasta en las líneas que sobrevivieron, un número considerable de animales nacían con anormalidades tan serias que debían ser descartados. Los efectos perjudiciales de esta seria endogamia podían haber enmascarado cualquier tendencia a la mejora de la tasa de aprendizaje de las ratas. Hablando en términos generales, estos defectos del experimento de Crew implican la necesidad de no considerar como concluyentes sus resultados. El mismo Crew opinaba, de hecho, que ésta era una cuestión que seguía abierta.¹²

Afortunadamente, la historia no termina aquí, porque el experimento se vio replicado por Wilfred Agar y sus colaboradores, de la Universidad de Melbourne, utilizando métodos que no se veían afectados por los defectos de los que adolecía el experimento de Crew. Este experimento determinó, durante un período de veinte años, la tasa de aprendizaje de líneas adiestradas y no adiestradas de cincuenta generaciones sucesivas. Y sus resultados corroboraron los de McDougall, mostrando la presencia de una elevada tendencia de las ratas

procedentes de la línea adiestrada a aprender más rápidamente en generaciones posteriores. *Pero lo más curioso fue que advirtieron exactamente la misma tendencia en la línea de ratas no adiestradas.*¹³

Quienes se pregunten por qué McDougall no advirtió la presencia de un efecto parecido en su línea de las ratas no adiestradas deben saber que sí lo observó. Y es que, aunque sólo analizó ocasionalmente ratas control del grupo original de ratas no adiestradas, advirtió «el inquietante hecho de que las ratas control procedentes de este grupo de los años 1926, 1927, 1930 y 1932 muestran una disminución del promedio de errores entre 1927 y 1932». Y, aunque pensó que dicho resultado podía ser fortuito, añadió:

«Es posible que la disminución del promedio de errores de 1927 a 1932 refleje un cambio real en la constitución de todo el grupo de ratas, una mejora (con respecto a esta facultad concreta) cuya naturaleza resulta difícil de sugerir».¹⁴

Con la publicación, en 1954, del informe final del equipo de Agar, se puso fin a la larga controversia sobre lo que se había denominado “experimento lamarckiano de McDougall”. La mejora puesta de relieve tanto en la línea de las ratas adiestradas como en la de las no adiestradas descartaba cualquier posible interpretación lamarckiana. La *conclusión* de McDougall se vio refutada y ése fue, aparentemente, el final del asunto. Por otra parte, sus *resultados* se vieron confirmados.

Estos resultados parecen inexplicables. Aunque jamás se haya profundizado adecuadamente en ellos y que, en términos de las ideas actuales, parecen absurdos, lo cierto es que, desde la perspectiva de la causación formativa, tienen mucho sentido. Es evidente que, en sí mismos, no constituyen una

prueba definitiva de dicha hipótesis y que siempre es posible aducir otras explicaciones como por ejemplo, que, por algún motivo ajeno a su entrenamiento, las sucesivas generaciones de ratas eran cada vez más inteligentes.¹⁵

La forma más inequívoca de comprobar, en futuros experimentos, los efectos de la resonancia mórfica sería la de enseñar a un gran número de ratas (o de cualquier otro animal) una nueva tarea en una determinada ubicación y determinar luego si había un aumento en la tasa de aprendizaje de la misma en ratas semejantes ubicadas a miles de kilómetros. La tasa de aprendizaje inicial debería ser, en ambos lugares, aproximadamente la misma. Luego, según la hipótesis de la causación formativa, la tasa de aprendizaje aumentaría progresivamente en el lugar en que se entrenase a un mayor número de animales y un aumento semejante debería detectarse también en las ratas de la segunda ubicación, aunque fuesen muy pocas, en ella, las ratas que se hubieran adiestrado. Obviamente, deberían tomarse precauciones para evitar cualquier sesgo consciente o inconsciente por parte de los experimentadores. Para ello, los experimentadores del segundo centro podrían determinar, a intervalos regulares (mensualmente, por ejemplo), la velocidad de aprendizaje de las ratas en varias tareas *diferentes*. Luego, en el primer centro, la tarea que llevarían a cabo miles de ratas se elegiría al azar para este equipo. Además, el momento en que comenzase el entrenamiento también se elegiría al azar y podría ser, por ejemplo, cuatro meses antes de iniciar las pruebas regulares en la segunda ubicación. No se comunicaría a los experimentadores del segundo centro la tarea seleccionada ni el momento en que, en el primer centro, empezase el adiestramiento. El aumento, en tales condiciones, de la tasa de aprendizaje de la tarea seleccionada en la segunda ubicación después de que el entrenamiento hubiese comenzado en la primera supondría

una clara prueba en favor de la hipótesis de la causación formativa.

Semejante efecto podría haber ocurrido cuando Crew y el grupo de Agar replicaron el experimento de McDougall. Sus ratas, en ambos casos, empezaron a aprender la tarea de un modo considerablemente más rápido que las de McDougall cuando éste emprendió su experimento.¹⁶

Si los resultados del experimento propuesto fueran positivos, no sería, por su misma naturaleza, repetible. En tal caso, las ratas se verían influidas, por resonancia mórfica, por las ratas del experimento original. Para demostrar la presencia, una y otra vez, del mismo efecto, sería necesario cambiar, en cada experimento, la tarea o la especie utilizada.

11.3. LA EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTA

Aunque los registros fósiles proporcionan evidencias claras sobre la estructura de los animales pasados, nos revelan muy poco sobre su conducta. Por ello la mayoría de las ideas sobre la evolución de la conducta no se basan tanto en pruebas precedentes del pasado, como en comparaciones entre especies presentes. Podemos, por ejemplo, elaborar teorías sobre la evolución de la conducta social de las abejas comparando especies sociales actuales con especies solitarias y coloniales, supuestamente más primitivas. Por más razonables que esas teorías puedan ser, sin embargo, lo cierto es que no dejan de ser meramente especulativas.¹⁷ Además, las teorías sobre la evolución de la conducta dependen de *creencias* sobre el modo en que se hereda la conducta porque nuestros conocimientos al respecto son, en realidad, muy limitados.

La teoría mecanicista o neodarwiniana asume que la conducta innata está “programada” o “codificada” en el ADN y

que los nuevos tipos de conducta se deben a mutaciones fortuitas. Luego la selección natural beneficia a los mutantes favorables, razón por la cual los instintos evolucionan. También se supone que las mutaciones azarosas proporcionan a los animales capacidades para determinado tipo de aprendizaje. Los animales cuya supervivencia y reproducción se benefician de esta capacidad se ven favorecidos por la selección natural. De ahí que la capacidad de aprendizaje también evolucione. Incluso la posibilidad de que una conducta aprendida acabe convirtiéndose en innata puede atribuirse, debido al hipotético efecto Baldwin, a mutaciones azarosas. Los animales pueden responder a nuevas situaciones y aprender a comportarse del modo adecuado; las mutaciones azarosas pueden provocar la aparición de esta conducta sin que la necesidad de aprender se vea favorecida por la selección natural. Así es como una conducta aprendida puede acabar convirtiéndose en innata, no tanto por la herencia de caracteres adquiridos, como por la aparición de las mutaciones adecuadas.

No parece haber límite alguno para todo lo que podemos explicar aludiendo a mutaciones azarosas favorables que modifican la "programación genética" de la conducta. Estas teorías neodarwinianas pueden desarrollarse matemáticamente mediante cálculos basados en las fórmulas de la genética de poblaciones.¹⁸ Pero las especulaciones que no pueden demostrarse carecen, en sí mismas, de todo valor ya que no son, en el fondo, más que una elaboración más sofisticada de las mismas creencias mecanicistas de las que parten.

La hipótesis de la causación formativa conduce a interpretaciones muy diferentes de la evolución de la conducta. En la medida en que los cambios genéticos influyen en la conducta, cabría esperar que la selección natural modificase el patrimonio genético de la población. Pero las pautas de conducta

concretas dependen, por resonancia mórfica, de la herencia de campos conductuales. Y, cuanto más se repita una determinada pauta conductual, más fuerte se torna esta resonancia. De este modo, la repetición de conductas instintivas tenderá a consolidar los instintos. Si, por otra parte, la pauta conductual cambia de un individuo a otro, la resonancia mórfica no producirá creodas bien definidas y la conducta será, en consecuencia, menos estereotipada. Y, cuanto mayor sea la diversidad de la conducta, mayor será, en futuras generaciones, la variabilidad. Este tipo de evolución, en una dirección que ha permitido la emergencia de la inteligencia, ha tenido lugar, en cierta medida, entre los pájaros, más en los mamíferos y mucho más todavía en el caso del ser humano.

Hay casos en los que una conducta semiaprendida puede haber evolucionado a partir de unas circunstancias en las que era completamente instintiva. Esto es algo que podemos observar, por ejemplo, a través de la hibridación de razas con diferentes creodas, dando lugar a campos motores compuestos que brindan más posibilidades de diversidad individual.

En otros casos, por el contrario, la conducta semiinstintiva puede haber evolucionado, como resultado de la repetición frecuente, partiendo de una conducta originalmente aprendida. Consideremos por ejemplo, en este sentido, la conducta de diferentes razas de perros. Los perros pastores se han visto adiestrados y seleccionados durante muchas generaciones para agrupar ovejas, los perdigueros para cazar, los pointers para rastrear, los raposeros para cazar zorros, etc. Los perros suelen mostrar una tendencia innata hacia la conducta característica de su raza aun antes de haber sido adiestrados.¹⁹ Y aunque es posible que estas tendencias no sean lo suficientemente fuertes como para ser calificadas como instintos, sí lo son para mostrar que la única diferencia entre el instinto y la predisposición hereditaria a aprender un determinado tipo de

conducta es de grado. Y aunque, obviamente, las razas de perros no han evolucionado en condiciones de selección natural, sino artificial, parece lógico pensar que, en ambos casos, se aplican los mismos principios.

Aunque resulta bastante sencillo imaginar cómo pueden haberse desarrollado, generación tras generación, determinados tipos de conducta instintiva mediante la repetición de una conducta aprendida, ésta no es una explicación verosímil de cualquier tipo de instinto, especialmente en el caso de animales que muestran una capacidad de aprendizaje muy limitada. Es posible que algunos nuevos instintos se deriven de permutaciones y combinaciones de instintos existentes, aunque también podrían haberse originado, por ejemplo, por hibridación entre razas o especies con diferentes pautas conductuales. Esas combinaciones también podrían haberse derivado de la incorporación de "actividades de reemplazo", es decir, de actividades aparentemente irrelevantes que llevan a cabo animales que se hallan "divididos" entre instintos enfrentados. Es posible que de ahí se deriven también ciertos elementos de los rituales de cortejo.²⁰ Y también es posible que, debido a mutaciones o a la exposición a entornos poco usuales, un animal sea capaz de "sintonizar" con creodas motoras de otras especies (véase sección 8.6).

Pero también cabe pensar que, además de la recombinación de creodas existentes, aparezcan en animales cuya conducta es casi por completo instintiva, algunos campos motores del todo nuevos. Las nuevas pautas de conducta sólo pueden aparecer si la repetición habitual de conducta ancestral se ve bloqueada, ya sea por un cambio en el entorno o por una mutación que modifique la fisiología o la morfogénesis normal del animal. En la mayoría de los casos, el animal sólo puede actuar de un modo ineficaz y poco coordinado, pero que, de vez en cuando, puede originarse un nuevo campo motor.

Y ahí donde aparezca, por vez primera, un nuevo campo, debe producirse un "salto" que no puede verse completamente explicado en términos de causas energéticas o formativas precedentes (véanse secciones 5.1 y 8.7).

Si la pauta de conducta debida a un nuevo campo conductual debilita la capacidad del animal para sobrevivir y reproducirse, su frecuencia de ocurrencia irá reduciéndose, porque la selección natural descartará a los animales que la presenten. Pero, si la nueva pauta de conducta contribuye a su supervivencia y reproducción, tenderá a verse repetida y reforzada por resonancia mórfica y se verá favorecida por la selección natural.

11.4. LA CONDUCTA HUMANA

La conducta de los animales superiores suele ser más flexible que la de los animales inferiores. Pero esta flexibilidad, no obstante, se halla confinada a los primeros estadios de una secuencia conductual y, muy especialmente, a la fase apetitiva inicial. Los estadios posteriores y, muy especialmente, el estadio final, el llamado acto consumatorio, se lleva a cabo de forma estereotipada como pauta de acción fija (véase sección 10.1).

Podemos representar un campo motor básico utilizando el modelo del paisaje epigenético, como un ancho valle que va estrechándose y cuyas paredes son cada vez más altas hasta que desemboca en un cañón muy profundo (véase figura 28 B). El ancho valle corresponde, en este sentido, a la fase apetitiva, en la que todavía pueden seguirse varios caminos alternativos que van "convergiendo" luego hacia la creoda final de cauce muy profundo que representa el acto consumatorio.

Y, aunque la diversidad de formas en las que, en el caso del ser humano, se alcanzan los objetivos conductuales sea mucho más amplia que en otras especies, el principio operante sigue siendo el mismo: sometidos a la influencia de campos conductuales supraordenados, las pautas de acción "confluyen" en actos consumatorios estereotipados generalmente innatos. Son muchos, por ejemplo, los caminos seguidos por la gente, para obtener comida, ya sea directamente a través de la caza, la pesca, la recolección, la agricultura o la ganadería, o indirectamente a cambio de determinadas faenas o trabajos. La comida se prepara, cocina y lleva a la boca de formas muy diferentes y utilizando medios muy distintos como, por ejemplo, la mano, una cuchara o unos palillos. A pesar, sin embargo, de toda esa diferencia, el modo en que la comida se mastica y el acto consumatorio del campo motor total de comer y tragar es muy parecido en todos los seres humanos. Del mismo modo, la conducta gobernada por el campo motor de la reproducción, los métodos de cortejo y los sistemas de apareamiento difieren considerablemente, pero el acto consumatorio de la copulación al que todos ellos conducen resulta bastante estereotipado. Y la pauta de acción fija final del macho, la eyaculación, discurre de manera automática y es, de hecho, innata.

Las diferentes pautas, pues, de la conducta humana suelen orientarse hacia un determinado número de objetivos establecidos por campos motores heredados, por resonancia mórfica, con miembros pasados de la especie. Estos objetivos suelen estar ligados al desarrollo, mantenimiento y reproducción del individuo y del grupo social. Y, aunque el juego y la actividad exploratoria no se dirijan inmediatamente hacia dichos objetivos, suelen contribuir, como ocurre con otras especies, a alcanzarlos. Tengamos en cuenta que el juego y la "conducta apetitiva de exploración generalizada" en ausencia de recom-

pensa no se hallan limitados al caso del ser humano. Las ratas, por ejemplo, exploran el entorno e investigan objetos, aun cuando se hallan saciadas.²¹

Pero no todas las actividades humanas que se hallan subordinadas a los campos motores se encauzan hacia objetivos biológicos o sociales. Algunas de ellas se orientan explícitamente hacia fines trascendentes, un tipo de conducta cuya forma más pura se pone de manifiesto en la vida de los santos.

Aunque la variabilidad de la conducta humana es muy amplia, si consideramos a la totalidad de la especie, las actividades de los individuos de cualquier sociedad tienden a coincidir en un número limitado de pautas estándar. Las personas suelen repetir actividades estructuradas características que han llevado a cabo una y otra vez muchas generaciones de antepasados. Entre ellas, cabe destacar el hecho de hablar un determinado idioma, las habilidades asociadas a la caza, la agricultura, el tejido, la fabricación de herramientas, la cocina, el canto, la danza, las modalidades de conducta asociadas a determinadas funciones sociales, etc., y en las que podemos pensar como si de campos mórficos se tratara.

Richard Dawkins acuñó el término *meme* para referirse a «una unidad de transmisión cultural o una unidad de *imitación*».²² Y empleó deliberadamente una palabra, para ello, que sonase como gen para subrayar la analogía existente entre genes y memes como replicadores. Pero uno de los problemas que implica este término es que es atomístico, es decir que nos lleva a pensar en los memes como unidades independientes que se hallan al mismo nivel. Concebir, por el contrario, la herencia cultural en términos de campos mórficos no tiene tal implicación, porque los campos mórficos se hallan organizados en jerarquías anidadas (véase figura 10).²³

Todas las pautas de actividad propias de una determinada cultura pueden ser consideradas como campos mórficos que, cuanto más frecuentemente se repiten, más acaban estabilizándose. Debido, no obstante, a la sorprendente diversidad de los campos mórficos específicos de las culturas, cada uno de los cuales podría movilizar los movimientos de todo ser humano, la resonancia mórfica no puede, en sí misma, conducir a un determinado individuo hacia un conjunto de creodas, en lugar de otro. Ninguna de estas pautas conductuales se expresa espontáneamente y todas deben ser aprendidas. Son los miembros de la sociedad los que inician a un individuo en una determinada pauta de conducta. Así es como suele empezar el proceso de aprendizaje, habitualmente por imitación, en el que la ejecución de una determinada pauta de conducta provoca la resonancia mórfica del individuo con todos los que, en el pasado, han llevado a cabo esa pauta. Consecuentemente, el aprendizaje se ve facilitado en la medida en que el individuo "sintoniza" con campos mórficos concretos.²⁴

Así es como suelen entenderse tradicionalmente, por otra parte, los procesos de iniciación. Y así es también como se supone que el individuo entra en estados o modalidades de existencia que le precedieron y se adentra, en consecuencia, en una realidad transpersonal.

La facilitación del aprendizaje por resonancia mórfica resulta difícil de demostrar empíricamente en el caso de pautas conductuales muy asentadas, pero un cambio en la tasa de aprendizaje resultaría más fácil de detectar con las pautas motoras de origen reciente. Así, por ejemplo, debería resultar cada vez más sencillo aprender a ir en bicicleta, conducir un coche, esquiar o jugar a un videojuego, debido a la resonancia mórfica acumulada por el gran número de personas que han adquirido ya esas diferentes habilidades. Pero, aun en el caso

de que la información cuantitativa demostrase de manera fehaciente un aumento en la tasa de aprendizaje, esa interpretación se vería complicada por la probable intervención de otros factores como, por ejemplo, la mejora en el diseño de los instrumentos utilizados, el uso de mejores métodos de enseñanza y la mayor motivación para aprender. Empleando, sin embargo, experimentos especialmente diseñados para mantener constantes el resto de los factores sería posible obtener evidencia persuasiva de los efectos preestablecidos. En el apéndice A presentamos los resultados de la reciente investigación experimental realizada sobre la resonancia mórfica en el aprendizaje humano.

La hipótesis de la causación formativa se aplica a todos los aspectos de la conducta humana en los que se repiten pautas concretas de movimientos, pero, como ya hemos señalado en varias ocasiones, no explica el origen de esas pautas. Y es que, en este caso, como en tantos otros, el problema de la creatividad queda fuera del alcance de las ciencias naturales y sólo puede ser dilucidado desde una perspectiva metafísica (véanse, en este sentido, las secciones 5.1, 8.7 y 11.3).

12. CUATRO POSIBLES CONCLUSIONES

12.1. LA HIPÓTESIS DE LA CAUSACIÓN FORMATIVA

La hipótesis de la causación formativa que hemos presentado en los capítulos anteriores sólo puede ser considerada como un esbozo preliminar. Se trata de una hipótesis que debe ser desarrollada con más detalle tanto en el dominio de la biología como en el de la física. Pero serán pocos, mientras no se corroboren algunas de sus predicciones, los incentivos para emprender esa tarea. Y es que sólo merecerá la pena seguir profundizando en esta hipótesis, al menos en su forma actual, si se obtienen resultados positivos. En las secciones 5.6, 7.4, 7.6, 11.2 y 11.4, entre otras, hemos esbozado algunas posibles pruebas experimentales y son muchas más las que, al respecto, pueden diseñarse.

La hipótesis de la causación formativa es una hipótesis verificable de las regularidades que podemos advertir objetivamente de la naturaleza y no puede responder a cuestiones relativas al origen de nuevas formas y pautas de conducta ni a la experiencia subjetiva. Dichas preguntas sólo podrán ser contestadas por teorías de mayor alcance que las ciencias naturales o, dicho en otras palabras, por teorías metafísicas.

Las cuestiones científicas se confunden a menudo con las metafísicas debido a la estrecha relación existente entre la teoría mecanicista de la vida y la teoría metafísica del materia-

lismo. Esta última sólo sería justificable si la visión mecanicista se viese sustituida, en el campo de la biología, por la hipótesis de la causación formativa o por cualquier otra hipótesis. Pero, en tal caso, perdería su posición privilegiada y se vería obligada a competir con otros enfoques metafísicos.

Ilustremos ahora las importantes diferencias existentes entre los dominios de la ciencia y de la metafísica esbozando, a grandes rasgos, en las siguientes secciones, cuatro abordajes metafísicos diferentes. Los cuatro son igualmente compatibles con la hipótesis de la causación formativa y, desde el punto de vista de las ciencias naturales, la decisión entre uno u otro permanece completamente abierta.

12.2. UNA VERSIÓN MODIFICADA DEL MATERIALISMO

El materialismo parte del supuesto de que la materia es lo único real. Todo lo que existe es o depende, en consecuencia, desde esa perspectiva, de la materia. Pero lo cierto es que el concepto de materia no tiene un significado fijo porque, los descubrimientos realizados por la física moderna, por ejemplo, lo han ampliado hasta abarcar los campos físicos y se ha llegado incluso a considerar las partículas como una forma de energía. A todos estos cambios se ha visto obligada a adaptarse la filosofía materialista.

Los campos morfogenéticos y los campos motores están asociados a sistemas materiales y pueden considerarse igualmente, en consecuencia, aspectos de la materia (véase sección 3.4). Por ello podríamos expandir la visión materialista hasta que incorporase la noción de causación formativa,¹ una nueva filosofía a la que, en la siguiente discusión, nos referiremos con el nombre de materialismo modificado.

El materialismo niega a priori la existencia de una instancia causal inmaterial y considera, en consecuencia, el mundo físico como algo causalmente cerrado. No puede, por tanto, existir entidad inmaterial alguna, como parece señalar la perspectiva subjetiva, que actúe sobre el cuerpo. La experiencia consciente se equipara o discurre, de algún modo, desde ese abordaje, paralela a los estados materiales del cerebro sin llegar, no obstante, a afectarlos.² Pero mientras que el materialismo convencional afirma que los estados cerebrales están determinados por una combinación entre causalidad energética y eventos fortuitos, la nueva perspectiva proporcionada por el materialismo modificado subraya la importancia que, en ese sentido, tiene también la causación formativa. Bien podríamos considerar, por tanto, la experiencia consciente como un aspecto o un epifenómeno de los campos motores que actúan sobre el cerebro.

La experiencia subjetiva del libre albedrío no puede, según esta hipótesis, derivarse de la influencia causal, sobre el cuerpo, de un ente inmaterial. Pero resulta concebible, no obstante, que algunos eventos fortuitos que ocurren en el interior del cerebro puedan experimentarse subjetivamente como si de decisiones libres se tratara. No obstante, esa aparente libertad no es más que un aspecto o epifenómeno de la activación fortuita de un determinado campo motor en detrimento de otro.

Si toda experiencia consciente se limitase a acompañar o a discurrir paralelamente a los campos motores que actúan sobre el cerebro, la memoria consciente, es decir, la memoria de los hábitos motores (véase sección 10.1), dependería de la resonancia mórfica de estados cerebrales anteriores. De ese modo, sin embargo, no se almacenarían en el cuerpo los recuerdos conscientes ni los recuerdos inconscientes.

El materialismo convencional no tiene más alternativa que negar, ignorar o descartar las pruebas de la existencia de los

fenómenos parapsicológicos, que resultan inexplicables en términos de causalidad energética. Pero un materialismo modificado posibilitaría una postura, en este sentido, algo más positiva. No es inconcebible que algunos de estos supuestos fenómenos sean compatibles con la hipótesis de la causación formativa. En ese sentido, podría, por ejemplo, aducirse una explicación de la telepatía en términos de resonancia mórfica³ y de la psicokinesis en función de la modificación de eventos probabilísticos de objetos que se hallan sometidos a la influencia de campos motores.⁴

Resulta imposible explicar el origen de formas, pautas conductuales e ideas nuevas en función de causas energéticas y formativas preexistentes (véanse secciones 5.1, 8.7, 11.3 y 11.4). Además, el materialismo niega la existencia de cualquier instancia creativa inmaterial. Como, en consecuencia, carecen de causa, su origen debe atribuirse al azar y la evolución sólo puede considerarse en función de la interacción existente entre el azar y la necesidad física.

El universo, según esta visión renovada del materialismo, está compuesto de materia y energía eternas o de origen desconocido que se hallan organizadas en una amplia diversidad de formas orgánicas e inorgánicas, que surgen al azar y se ven gobernadas por leyes inexplicables. Desde esta perspectiva, la experiencia consciente discurre paralelamente a los campos motores que actúan sobre el cerebro o constituye un aspecto de los mismos. Cualquier creatividad humana, como la creatividad evolutiva, debe atribuirse, en última instancia, al azar. Por ello los seres humanos adoptan sus creencias (incluyendo la creencia en el materialismo) y llevan a cabo sus acciones como resultado de eventos fortuitos y de las necesidades físicas de su cerebro. La vida humana no tiene propósito alguno más allá de la satisfacción de necesidades biológicas y sociales. Y tampoco lo tiene la evolución de la vida y del universo.

12.3. EL YO CONSCIENTE

Contrariamente a la filosofía materialista, el yo consciente tiene una realidad irreductible a la materia. Cualquiera afirmaría que su propio yo consciente tiene la capacidad de tomar decisiones. Y también podemos suponer que otras personas, del mismo modo, son seres conscientes que poseen, en consecuencia, una capacidad semejante a la nuestra.

Esta perspectiva, una visión que se apoya en el “sentido común”, conduce a la conclusión de que el yo consciente y el cuerpo *interaccionan*. Pero ¿cómo tiene lugar esa interacción?

La noción de yo consciente, desde una perspectiva mecanicista, es una suerte de “espíritu la máquina”.⁵ No es de extrañar por tanto que se trate, para los materialistas, de una noción intrínsecamente absurda. Los defensores de la posición interaccionista no han sido capaces de especificar cómo tiene lugar dicha interacción, sino que tan sólo se han limitado a señalar que, de algún modo, depende de alguna modificación cuántica que ocurre en el interior del cerebro.⁶

La hipótesis de la causación formativa nos permite enfrentarnos desde una nueva perspectiva a este eterno problema. Bien podríamos considerar, desde esta perspectiva, que el yo consciente no interactúa con una máquina, sino con campos mórficos asociados al cuerpo y que dependen de su estado físico y químico. Pero el yo no es lo mismo que el campo mórfico ni se experimenta de un modo paralelo a los cambios originados en el cerebro por la causalidad energética y formativa. Y es que, si bien el yo “forma parte” de los campos mórficos, permanece, de algún modo, por encima de ellos.

Gracias a estos campos, el yo consciente está ligado de forma muy estrecha, durante la percepción y las actividades controladas conscientemente, al medio externo y a los estados corporales. No es necesario que la experiencia subjetiva

que no está directamente vinculada al entorno actual o a la acción inmediata —por ejemplo, en los sueños, los ensueños o el pensamiento discursivo— mantenga una relación especialmente estrecha con las causas energéticas y formativas que operan en el cerebro.

Esta conclusión parece contradecir, a primera vista, las pruebas que demuestran la existencia de una asociación directa entre los estados de conciencia y determinadas actividades fisiológicas. Los sueños, por ejemplo, tienden a verse acompañados por movimientos oculares rápidos y por la presencia de ciertas frecuencias cerebrales diferentes.⁷ Pero lo cierto es que esos cambios fisiológicos no demuestran la existencia de una estrecha correlación entre ambos fenómenos y quizás no sean más que una consecuencia inespecífica de la entrada de la conciencia en el estado onírico.

Quizás la siguiente analogía nos ayude a entender más fácilmente este punto. Consideremos, por ejemplo, la interacción que existe entre un coche y su conductor. En determinadas circunstancias, los movimientos del vehículo se hallan estrechamente ligados a las acciones del conductor y dependen de su percepción de la carretera, de las señales de tráfico, de los indicadores que el salpicadero proporciona sobre el estado interno del vehículo, etc. Pero en otras circunstancias, sin embargo, esta vinculación es mucho más débil como sucede, por ejemplo, cuando el conductor, con el coche parado y el motor apagado, está mirando un mapa. Aunque existe una relación general entre el estado del vehículo y las actividades del conductor —porque no puede leer, por ejemplo, mientras conduce—, no hay ninguna conexión concreta entre las vibraciones del motor y los rasgos del mapa que está estudiando. Y quizás, del mismo modo, los ritmos eléctricos del cerebro no tengan ninguna relación concreta con las imágenes experimentadas en los sueños.

Si el yo consciente posee propiedades que no pueden reducirse a las propiedades de la materia, de la energía, de los campos morfogenéticos y de los campos motores, no hay razón por la cual los recuerdos conscientes —los recuerdos, por ejemplo, de eventos concretos del pasado— deban almacenarse materialmente en el cerebro o dependan de la resonancia mórfica. Bien podrían proceder directamente de estados conscientes pasados, a través del espacio y el tiempo, debido sencillamente a su similitud con estados presentes. Este proceso se asemeja a la resonancia mórfica, pero difiere de ella en que no depende de estados físicos, sino de estados conscientes. De este modo, habría *dos* tipos de memoria a largo plazo: la memoria motora, dada por la resonancia mórfica, y la memoria consciente, que depende del acceso directo del yo consciente a sus propios estados pasados.⁸

Parece probable, si admitimos que el yo consciente posee propiedades diferentes a las de cualquier sistema estrictamente físico, que algunas de estas propiedades lleguen a explicar fenómenos parapsicológicos que resultan inexplicables en términos de causación formativa o de causación energética.⁹

Pero ¿cómo actúa si el yo posee propiedades propias, diferentes a las de cualquier sistema estrictamente físico, sobre el cuerpo y el mundo exterior a través de los campos mórficos? Dos son las posibilidades que, en este sentido, parecen existir: seleccionando, en primer lugar, entre diferentes campos motores posibles y adoptando luego un determinado curso de acción en lugar de otro y sirviendo, en segundo lugar, como instancia creativa a través de la cual aparecen nuevos campos mórficos como sucede, por ejemplo, durante el aprendizaje “intuitivo” (véase sección 10.4). En ambos casos, actuaría como causa formativa, pero una causa, dentro de ciertos límites, libre e indeterminada, desde el punto de vista de

la causalidad física, a la que bien podríamos considerar como una causa formativa de causas formativas.

Las acciones conscientemente controladas dependen, según esta interpretación, de *tres* tipos diferentes de causalidad, la causalidad consciente, la causación formativa y la causalidad energética. Por el contrario, las teorías interaccionistas tradicionales del tipo "espíritu en la máquina" sólo admiten dos tipos de causalidad, la causalidad consciente y la causalidad energética, sin que exista, entre ambas, causación formativa alguna. El materialismo modificado, por su parte admite otras dos, la formativa y la energética, y niega la existencia de la causalidad consciente, y el materialismo convencional sólo admite una de ellas, la causalidad energética.¹⁰

La fuerte canalización de las pautas instintivas de conducta de los animales inferiores probablemente deje poco o ningún espacio para la causación consciente, pero la canalización innata relativamente débil de la conducta apetitiva propia de los animales superiores puede proporcionar un alcance limitado. Y, en el caso de los seres humanos, el enorme rango de posibles acciones da lugar a muchas situaciones ambiguas en las que pueden tomarse decisiones conscientes tanto a niveles inferiores, entre posibles métodos de alcanzar objetivos ya establecidos por campos mórficos supraordenados, como a niveles superiores, entre campos motores que compiten entre sí.

La conciencia, desde esta perspectiva, se orienta fundamentalmente hacia la decisión entre posibles acciones, y su evolución está íntimamente ligada al aumento de la amplitud de la causación consciente.

Esta amplitud puede haber crecido extraordinariamente, en algún estadio temprano de la evolución humana, con el desarrollo del lenguaje, tanto de modo directo, proporcionando la capacidad de emitir un número indefinido de pautas

sonoras y pronunciar frases, como de modo indirecto, a través de aquellas acciones posibles por este modo detallado y flexible de comunicación. Además, el yo consciente puede, durante cualquier estadio del desarrollo asociado al pensamiento conceptual, cobrar conciencia de sí mismo, en un auténtico salto cualitativo, como agente de la causación consciente.

Aunque la creatividad consciente alcance su desarrollo más elevado en la especie humana, es muy probable que haya desempeñado también un papel muy importante en el desarrollo de nuevas pautas de conducta en los animales superiores y que tenga incluso algún significado en los animales inferiores. Pero la causación consciente sólo tiene lugar dentro de los marcos de referencia de causación formativa establecidos por resonancia mórfica con animales pasados y no puede explicar los campos conductuales en el contexto desde el que se expresan ni puede considerarse como causa de la forma concreta de las especies. Y menos puede contribuir a explicar el origen de nuevas formas del reino vegetal. Así es como sigue sin resolverse el problema de la creatividad evolutiva. Esta creatividad no puede atribuirse a una instancia creativa no física que trasciende al organismo individual ni al azar.

La adopción de esta última alternativa torna compatible la segunda postura metafísica con la hipótesis de la causación formativa, que admite la realidad del yo consciente como instancia causal, pero niega la existencia de cualquier instancia no física que trascienda al organismo individual.

12.4. EL UNIVERSO CREATIVO

Aunque una instancia creativa capaz de dar lugar, en el curso de la evolución, a nuevas formas y pautas de conducta tras-

cendería necesariamente el organismo individual, no necesariamente debería trascender la naturaleza. Podría, por ejemplo, ser inmanente a la totalidad de la vida, en cuyo caso se correspondería con lo que Bergson denominó *élan vital*,¹¹ o podría ser inmanente a la totalidad del planeta, del sistema solar o del universo. Y también podrían existir, en todos esos niveles, una jerarquía de creatividades inmanentes.

Esas instancias creativas podrían dar lugar a nuevos campos morfogenéticos y motores a través de una especie de causación muy semejante a la causación consciente que acabamos de considerar. Si, de hecho, admitimos la existencia de tales instancias creativas, resulta difícil eludir la conclusión de que, de algún modo, debe tratarse de yos conscientes.

Si existe dicha jerarquía de yos conscientes, los que ocupan los niveles superiores podrían expresar su creatividad a través de los que ocupan niveles inferiores. Y, si semejante instancia creativa supraordenada actuase sobre la conciencia humana, los pensamientos y acciones a los que diese lugar podrían ser experimentados como procedentes de una fuente externa. Ésta es, precisamente, una experiencia que todos conocemos con el nombre de *inspiración*.

Si tales “yos superiores”, por otra parte, son inmanentes a la naturaleza, cabe suponer que, bajo determinadas circunstancias, los seres humanos puedan tornarse directamente conscientes de todo aquello que abarcan e incluyen en su interior. Y la experiencia, de hecho, de una unidad interna con la vida, con la Tierra o con el universo a menudo se ha descrito y expresado en estos mismos términos.

Pero, aunque una jerarquía inmanente de yos conscientes pueda explicar la creatividad evolutiva del universo, no necesariamente ha originado el mismo universo. Ni esta creatividad inmanente tendría objetivo alguno si no existiera, más allá del universo, algo hacia lo que dirigirse. De este modo,

la totalidad de la naturaleza evolucionaría de continuo, pero de un modo ciego y sin dirección.

Esta postura metafísica admite la eficacia causal del yo consciente y la existencia de instancias creativas que, pese a trascender a los organismos individuales, son inmanentes a la naturaleza. A pesar de ello, sin embargo, niega la existencia de cualquier instancia creativa última que trascienda la totalidad del universo.

12.5. LA REALIDAD TRASCENDENTE

Si el universo, en su conjunto, hubiera sido creado por una instancia consciente que lo trascendiese, sólo podría tener una causa y un objetivo. A diferencia del universo, sin embargo, esta conciencia trascendente no se desarrollaría hacia un objetivo, sino que ella misma sería su propio objetivo. No se orientaría hacia ninguna forma final, sino que sería completa en sí misma.

Si este ser consciente trascendente fuese el origen del universo y de todo lo que hay en él, todas las cosas creadas participarían, de algún modo, de su naturaleza. En este sentido, la "totalidad" más o menos limitada de los organismos podría considerarse entonces, a todos los niveles de complejidad, como un reflejo de la unidad trascendente de la que dependen y de la que, en última instancia, se derivan.

Esta cuarta postura metafísica afirma, pues, la eficacia causal del yo consciente, la existencia de una jerarquía de instancias creativas inmanentes en la naturaleza y la realidad de una fuente trascendente del universo.

APÉNDICE A

NUEVAS PRUEBAS PARA DETERMINAR LA RESONANCIA MÓRFICA

Existen dos formas diferentes de abordar la hipótesis de la causación formativa: a través de los campos mórficos, que conectan partes de una unidad mórfica en el *espacio* y a través de la resonancia mórfica y de su influencia acumulativa en el *tiempo*.

La investigación realizada sobre el aspecto espacial de los campos mórficos se ha centrado fundamentalmente en los campos sociales y perceptuales. En mis libros *Siete experimentos que pueden cambiar el mundo*, *De perros que saben que sus amos están camino de casa*; y *otras facultades inexplicadas de los animales* y *El séptimo sentido, la mente extendida*, he resumido los descubrimientos realizados en estos campos.¹ Los lectores interesados también pueden echar un vistazo a mi *website* www.sheldrake.com, en donde podrán acceder a los artículos completos que he publicado sobre estos temas en diversas revistas especializadas, que se hallan bajo la supervisión de mis colegas.

Son varias las formas nuevas de tratar de demostrar la resonancia mórfica que presento en este apéndice. En el momento en que aparecen, los nuevos campos mórficos son débiles, porque todavía no se han estabilizado por resonancia mórfica con sistemas pasados similares. Cuanto más frecuen-

temente ocurre un determinado proceso mórfico, mayor es también su resonancia mórfica, más fuerte su campo mórfico y más intensa la fuerza del hábito. En la medida en que la resonancia mórfica aumenta, los procesos mórficos son más rápidos, y más estables también los campos mórficos. Estas predicciones de la hipótesis de la causación formativa resultan verificables en un amplio abanico de sistemas, que van desde la física de bajas temperaturas hasta el aprendizaje humano.

A.1. LOS CONDENSADOS BOSE-EINSTEIN

Cuando las unidades mórficas han ocurrido durante miles de millones de años y se ha repetido en innumerables ocasiones, no pueden observarse cambios en su velocidad de formación. Y tampoco puede detectarse cambio alguno en su estabilidad. Ese tipo de hábitos se hallan tan profundamente asentados que bien podríamos decir que son fijos. La formación de los átomos de hidrógeno, de las moléculas de metano y de los cristales de cloruro de sodio, por ejemplo, no experimenta, en este sentido, ningún cambio mensurable. Para detectar la resonancia mórfica, es necesario estudiar sistemas *nuevos* que recién estén organizándose.

¿Qué procesos observables en la Tierra es improbable que hayan ocurrido en cualquier otro lugar del universo? Los que tienen lugar a temperaturas extraordinariamente bajas.

La radiación cósmica revela que la temperatura de fondo del universo es de $2,7 \text{ }^\circ\text{K}$ o, lo que es lo mismo, $2,7 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima del cero absoluto. Pero hoy en día es posible, en el laboratorio, enfriar sistemas a temperaturas inferiores a $1 \text{ }^\circ\text{C}$ por encima del cero absoluto, un valor muy inferior, por tanto, al promedio del universo. A esas ultrabajas temperaturas, los sistemas físicos se comportan de un modo muy extraño.

El más conocido de los fenómenos que tienen lugar a esas bajísimas temperaturas es la formación de los condensados Bose-Einstein, un nuevo estado de la materia que hay que sumar a los conocidos estados sólido, líquido, gaseoso y plasmático que ya predijeron, en 1927, Satyendranath Bose y Albert Einstein. El primero de ellos en ser investigado fue, en 1938, el helio-4, que, cuando se enfría a 2,17 °K, se convierte en un superfluido que se desplaza sin la menor fricción. El primer condensado Bose-Einstein "puro" creado fue, en 1995, el rubidio-87. Tales condensados pueden tener propiedades extrañas y constituyen una especie de superátomos, es decir, de grupos de átomos que se comportan como si fuesen uno.

Supuestamente, los condensados Bose-Einstein creados en los modernos laboratorios físicos son completamente nuevos en la naturaleza (a menos que hayan sido fabricados en laboratorios de física por extraterrestres procedentes de otros planetas). Dado que se comportan como totalidades, puede haber en ellos un punto en el que los campos cuánticos convergen con los campos mórficos.

Si los condensados de Bose-Einstein se ven, en realidad, organizados por los campos mórficos, cuanto más frecuentemente se fabrique un determinado tipo de condensado en un laboratorio, más estable se tornará y más fácil resultará de fabricar, en similares condiciones, en cualquier parte del mundo.

Convendría pues, para corroborar la hipótesis de la resonancia mórfica, preparar un nuevo tipo de condensado y crearlo repetidamente en condiciones estándares, controlando su tasa de formación. Si la resonancia mórfica funciona, el condensado se formará más aprisa cuanto más frecuentemente se repita el proceso y aumentará también, al mismo tiempo, su estabilidad.

A.2. PUNTOS DE FUSIÓN

Como ya hemos visto en el capítulo 5, la resonancia mórfica debería conducir, cuanto más cristaliza un compuesto, a un aumento en su velocidad de cristalización. Y la resonancia de cristales anteriores similares debería intensificar, de algún modo, el campo mórfico de un determinado tipo de cristal.

El aumento en la fortaleza mórfica debería aumentar también la estabilidad de esos cristales o, dicho de otro modo, la dificultad de destruirlos. Como, al alcanzar el punto de fusión, los cristales se destruyen, la resonancia mórfica debería incrementar el punto de fusión de los nuevos tipos de cristales.

Ésta es una predicción chocante. Los puntos de fusión se consideran "constantes físicas" que se supone, en consecuencia, inmutables. Y es que, aunque se vean afectados por diversas variables, como la presión atmosférica y la presencia de impurezas, por ejemplo, suele darse por sentado que las muestras puras de una determinada sustancia tienen, en condiciones de presión atmosférica estándar, el mismo punto de fusión en todo momento y en todo lugar. Todo el mundo sabe que el punto de fusión del hielo es, siempre ha sido y siempre será de 0 °C. Los manuales que enumeran las constantes físicas recogen los puntos de fusión de miles y miles de sustancias. Son pocos los aspectos de la ciencia sobre los que se disponga de tanta certeza. Y la constancia de los puntos de fusión era un dato que, habiendo estudiado química, yo daba por sentado.

Después de que la primera edición de este libro viese la luz, di un seminario sobre resonancia mórfica en el departamento de química de la Universidad de Vermont en el que mencioné el aumento de la velocidad de cristalización de los nuevos compuestos. Entonces fue cuando un químico me señaló que, si la resonancia mórfica estabiliza los campos mórficos,

ficos de los cristales, también debería hacer algo parecido con los puntos de fusión. Y, como me pareció una sugerencia muy acertada, me dediqué a investigar qué era lo que, al respecto, ocurría.

Cuando pregunté a varios químicos que se dedicaban a la síntesis si habían advertido la tendencia a aumentar de los puntos de fusión de las nuevas sustancias, resultó que se trataba de una observación bastante habitual. Pero la explicación que solía darse a ese fenómeno era que, con el paso del tiempo, las habilidades de los químicos mejoran. Y es que, como las impurezas reducen el punto de fusión, éste aumenta proporcionalmente a la pureza de las muestras. Y cuando les preguntas a los químicos «¿Cómo puedes estar seguro de que las muestras recientes son, de hecho, las más puras?», su respuesta habitual es: «Deben de serlo, porque su punto de fusión es más elevado». Un argumento muy razonable, pero no exento, como cualquiera puede ver, de circularidad.

Entonces me dediqué a buscar, entre los manuales y revistas químicas de comienzos, mediados y finales del siglo XX, los puntos de fusión de un amplio abanico de sustancias químicas orgánicas. Mi objetivo era comparar los puntos de fusión de sustancias que llevaban millones de años cristalizando en la naturaleza con los de otras que recién estaban empezando a cristalizar en los laboratorios. Si hubiese, en este sentido, una tendencia general en las muestras de los químicos a ser más puras, también debería haber un aumento proporcional en los puntos de fusión de ambas. Pero si el punto de fusión depende, de algún modo, de la resonancia mórfica, sólo habría un aumento en el caso de las sustancias recientemente cristalizadas. Y no cabría, por tanto, esperar la presencia de esa tendencia en los compuestos que cristalizasen en condiciones naturales. Y ello por dos razones diferentes.

En primer lugar, probablemente haya un límite más allá del cual el punto de fusión ya no puede seguir aumentando. O, por decirlo de otro modo, hay factores externos que resultan insalvables. Esto es cierto para todos los procesos. Después de que, en 1954, por ejemplo, Roger Bannister corriese, la milla en menos de cuatro minutos, la velocidad ha seguido aumentando y el récord está hoy en día en tres minutos y cuarenta y tres segundos. Pero es muy improbable que ese registro siga bajando y la milla acabe corriéndose en tres minutos, un minuto o un segundo. Y es que hay factores, como el sistema muscular, la capacidad del corazón para bombear suficiente sangre e incluso la fricción, que así lo impiden. Es de esperar, hablando en términos generales, que la resonancia mórfica provoque cambios que también tengan límites, algo tan cierto en el caso de los puntos de fusión como en cualquier otro.

En segundo lugar, habría tanta resonancia mórfica de los cristales del pasado que no se advertiría ningún cambio adicional. Comparada con la resonancia de miles de billones cristales pasados, la resonancia provocada por unos cuantos miles no provocaría ninguna diferencia detectable.

Es evidente, por otra parte, que los puntos de fusión incluidos en los manuales se basan en informes de la literatura química incluidos en manuales anteriores y que los de una edición se transcriban tal cual, en consecuencia, en la siguiente o se copien de otros manuales. Por ello el fechado del cambio del punto de fusión resulta bastante impreciso y que el valor citado en un determinado manual pueda referirse a una identificación llevada a cabo varias décadas atrás.² También es cierto que, de vez en cuando, los manuales se ven actualizados, momento en el cual el antiguo punto de fusión se ve reemplazado por otro nuevo.

La mayor actualización de los puntos de fusión nos la proporcionan los catálogos de sustancias químicas. Fue por ello

que centré entonces mi atención en el *Catalogue Handbook of Fine Chemicals* de la Aldrich Chemical Company. En muchos casos, los puntos de fusión proporcionados por ese catálogo eran más elevados que las referencias bibliográficas estándares disponibles en las bibliotecas. Pero ¿cuán confiables eran los valores proporcionados por el catálogo de Aldrich? En 1991, compré muestras de cuarenta productos químicos diferentes de Aldrich y encargué la determinación de sus puntos de fusión al departamento de materiales del Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología de Londres.³ Los valores se ajustaban mucho a las afirmaciones de la empresa, dentro de un margen de tolerancia de entre ± 1 y 2 °C. Así pues, los puntos de fusión incluidos en el catálogo de Aldrich parecen una guía fiable a los valores contemporáneos.

Son muchos los productos que, a lo largo del siglo xx, han aumentado su punto de fusión más de 5 °C. La sacarina, por ejemplo, el edulcorante artificial más antiguo, se vio sintetizado por vez primera en 1878. En 1902, su punto de fusión era de 220 °C, un valor que, en 1996, era de 229 °C, es decir, un aumento de 9 °C. La fenolftaleína, empleada en los laboratorios de química como indicador de la acidez, se vio sintetizada en 1880. En 1907, su punto de fusión era de 152 °C y, en 1998, de 262 °C, un aumento de 10 °C.

Otros compuestos con puntos de fusión cada vez mayores procedían de organismos vivos que, en la naturaleza, se presentan de un modo demasiado diluido como para cristalizar. Y es que, aunque se trate de sustancias que hayan existido desde hace muchos millones, e incluso miles de millones de años, probablemente no cristalizaron hasta bien entrado el siglo xix, momento en el que se vieron aisladas y concentradas en el laboratorio. La adrenalina, por ejemplo, aislada por vez primera en 1895, tenía, en 1901, un punto de fusión de 201 °C y, en 1989, de 215, lo que ponía de relieve un aumento de

14 °C. La cortisona, por su parte, aislada de la corteza adrenal durante la década de 1930 tenía, en 1936, un punto de fusión de 205 °C y, en 1989, de 225, un aumento de 20 °C.

A lo largo de esta investigación también descubrí una sorprendente anomalía, el caso de la vitamina B₂, conocida también con el nombre de riboflavina que, en la naturaleza, cristaliza, por ejemplo, en los ojos de los lemures y en las células de algunos hongos.⁴ Los cristales de riboflavina muestran, en este sentido, poco o ningún cambio en el punto de fusión, aunque, desde 1940 hasta la actualidad, ha mostrado un aumento desde los 275 a los 290 °C. Pero la figura de 1940, tomada de la quinta edición del *Merk Index*, era sólo una de un amplio rango de puntos de fusión determinados entre las décadas de 1930 y 1950, que iba desde 271 hasta 293 °C.⁵ Pero quizás esta variabilidad tenga una explicación más sencilla porque, en la actualidad, se sabe que la riboflavina se presenta en tres modalidades cristalinas diferentes, cada una de las cuales tiene un punto de fusión distinto.⁶

En la investigación que he llevado a cabo con un amplio abanico de sustancias químicas, he descubierto que, en algunos casos, el punto de fusión se ha mantenido constante mientras que, en otros, por el contrario, ha aumentado con el paso del tiempo. Muy pocas veces, por cierto, disminuían. A comienzos de la década de 1990, escribí al editor de uno de los principales manuales para preguntarle si habían estudiado la pauta de cambio que se ponía de manifiesto de una edición a otra. Me respondió que no y que, como le sorprendía la tendencia difundida de los puntos de fusión a crecer, había dado por sentado que los cambios eran el resultado de errores azarosos y que, en consecuencia, tanto aumentaban como disminuían. Pero lo cierto es que ése dista mucho de ser el caso.

La figura A.1 compara los puntos de fusión históricos de sustancias que llevan millones de años cristalizando en la na-

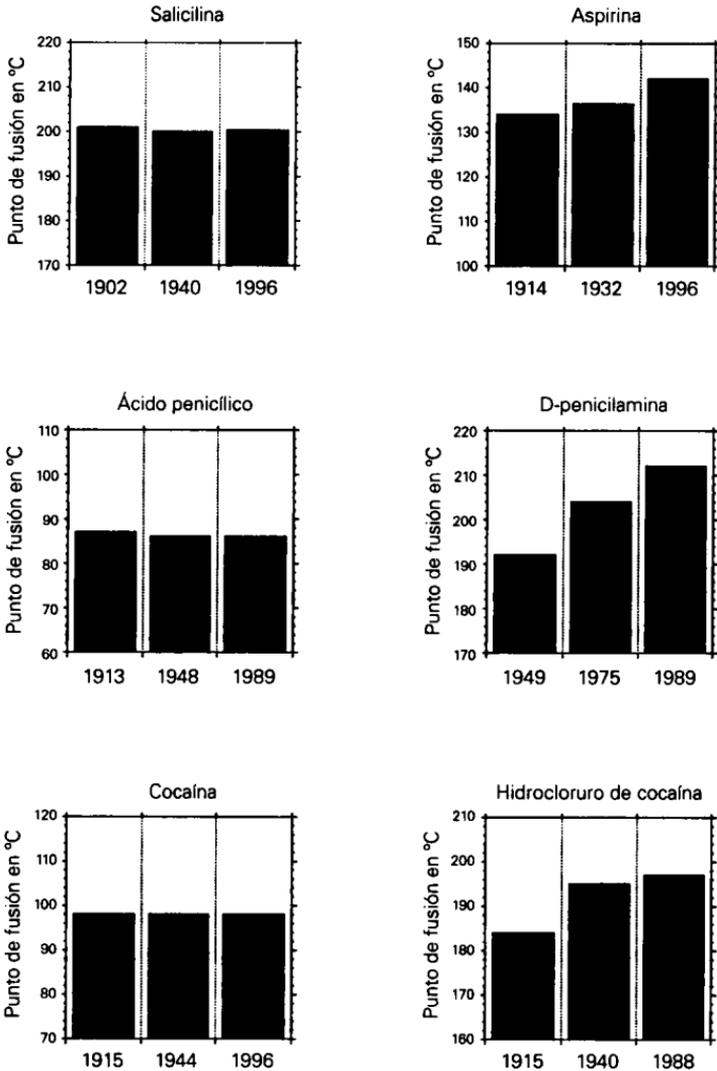


FIGURA A.1. Cambios en los puntos de fusión a lo largo del tiempo de varias sustancias naturales (izquierda) y de compuestos sintéticos relacionados (derecha).

turalidad con los derivados químicos de estas sustancias que no existían hasta los siglos XIX y XX. La salicilina, por ejemplo, que se encuentra en la corteza del sauce, del álamo y en otras plantas, se utilizaba médicamente desde la época de los antiguos griegos. Se vio aislada por vez primera en 1827. Su derivado químico, el ácido acetilsalicílico, conocido también con el nombre de aspirina, se vio sintetizado por vez primera en 1853. En 1899 se introdujo por primera vez en la práctica médica hasta convertirse en uno de los fármacos más populares de todo el mundo, con un consumo anual de cerca de 50.000 toneladas.⁷ El punto de fusión de la salicilina se mantuvo constante durante todo el siglo XX, mientras que el de la aspirina, por su parte, aumentó 8 °C.

El ácido penicílico es excretado naturalmente por varias especies de hongos del género *Penicillium* y se vio aislado e identificado por vez primera en 1913, años antes del descubrimiento de las propiedades antibióticas de la penicilina, que tuvo lugar en 1929. Durante la década de 1940, se aislaron y sintetizaron varios compuestos relacionados.⁸ Uno de ellos fue la D-penicilamina, un revolucionario derivado antibiótico de la penicilina que se utiliza terapéuticamente como antirreumático. El punto de fusión del ácido penicílico se ha mantenido más o menos constante, mientras que el de la D-penicilamina ha aumentado 20 °C.

La cocaína se presenta como base libre en la superficie de las hojas de la planta de la coca a una concentración superior al 1%.⁹ Supuestamente, a lo largo de millones de años, ha cristalizado con frecuencia a medida que las hojas se secaban. El hidrocloreto de cocaína, por su parte, es decir, la cocaína comercial, es nueva y se produce tratando con ácido clorhídrico el extracto de hojas de coca. En este sentido, el punto de fusión de la cocaína ha permanecido constante, mientras que el del hidrocloreto de cocaína ha aumentado 13 °C.

Cuando, en 1997, la organización holandesa *Stitching Skepsis* me escribió pidiéndome una copia de mis observaciones sobre el cambio de los puntos de fusión, les envié mis datos. Después de haber corroborado la literatura existente al respecto y de haber obtenido resultados muy parecidos, concedieron que algunos puntos de fusión habían aumentado, pero esgrimieron, como explicación, el conocido argumento de que ello no se debía tanto a la resonancia mórfica como a una mejora en la pureza. Pero lo cierto es que no esgrimieron la menor prueba en apoyo de su conclusión. En un artículo escrito en *Skeptical Inquirer*, sencillamente afirmaban que «no hay otra explicación».¹⁰

Es mucha la investigación que, con respecto al punto de fusión, todavía puede hacerse. Yo tan sólo me he dedicado, en este sentido, a investigar un fragmento muy limitado de la inmensa literatura química existente al respecto. Desafortunadamente, sin embargo, esos registros no suelen incluir información alguna sobre la pureza y estas pruebas históricas, en consecuencia, jamás serán concluyentes. El único modo de seguir avanzando consiste en llevar a cabo pruebas especiales.

Veamos un posible ejemplo en este sentido. Tomemos seis productos químicos que se hayan visto recientemente fabricados por vez primera en una universidad o en una empresa. Cristalicémoslos y, después de determinar su punto de fusión, guardemos las muestras en un frigorífico. Sinteticemos luego repetidamente, en otro laboratorio, grandes cantidades de uno de ellos elegido al azar, lo que debería conducir, desde el punto de vista de la resonancia mórfica, a un aumento en el punto de fusión de ese compuesto concreto, pero no en el de los otros cinco. Determinemos de nuevo, en el primer laboratorio, el punto de fusión de las seis muestras. ¿Ha experimentado acaso un aumento el punto de fusión de las muestras? ¿Se mantiene igual el punto de fusión de las otras cinco?

A.3. TRANSFORMACIONES DE LOS CRISTALES

Muchas sustancias químicas pueden asumir más de una forma de cristalización. Los ejemplos mejor conocidos en este sentido son las modalidades alternativas de los elementos químicos, llamados alotropos. El grafito y el diamante son dos formas cristalinas del carbono que asumen una forma respectivamente hexagonal y tetraédrica. Bajo temperaturas y presiones muy elevadas, aquél puede convertirse en éste, que es el modo en que se fabrica precisamente el diamante artificial. El estaño tiene un alotropo gris con una estructura cristalina cúbica y carece de propiedades metálicas. Cuando se calienta por encima de $13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, se convierte en estaño blanco, que es metálico y posee una estructura tetragonal. Otros elementos que poseen cristales alotrópicos son el azufre, el fósforo y el plutonio.

Los cristales de muchas sales y moléculas también existen en formas alternativas que no se llaman, en tal caso, alotropos, sino polimorfos. El carbonato de calcio, por ejemplo, se presenta en forma de calcita y de aragonita. Ésta es más soluble y se presenta en pequeños cristales en el interior del basalto y en las conchas de los moluscos. La calcita, por su parte, se encuentra en las rocas sedimentarias, como la piedra caliza, el espató de Islandia y las conchas de bivalvos como la ostra. Calentada a $470\text{ }^{\circ}\text{C}$, la aragonita se convierte en calcita.

Como ocurre con la calcita y la aragonita, el nitrato de potasio también asume dos modalidades alternativas. La forma semejante a la aragonita cambia a modalidad calcita a $127,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta transición ha sido estudiada detenidamente calentando muy despacio cristales individuales y enfriándolos luego a través de la luz reflejada por los cristales, lo que pone de relieve la existencia de diferentes pautas de reflexión. Los cristales que se atienen a la modalidad aragonita necesitan es-

tar varios minutos por encima de la temperatura de transición para transformarse en calcita. Pero, cuando los cristales de calcita se enfrían de nuevo, se recupera, a los pocos minutos, con sorprendente detalle, la estructura original de la modalidad aragonita y, alineándose los átomos de forma exactamente igual a los originales, lo que ha llevado a los investigadores a concluir que se trata de un "efecto memoria".¹¹

Las transformaciones entre varias modalidades polimorfas pueden ocurrir en cristales de muy diferentes sustancias químicas orgánicas. Existen dos modalidades, alfa y beta, de un compuesto de contiene azufre llamado perclorato de óxido n-metil-1-tia-5-azonia ciclooctano (NMTAOP) y la transición de uno a otro tiene lugar a una temperatura de 17 °C. El calentamiento de la forma alfa de cristales individuales unos pocos grados por encima de 17 °C provoca, por ejemplo, a los pocos minutos, un cambio, determinado por las propiedades ópticas de los cristales, a la forma beta. Y, aunque la transformación inversa ocurre enfriando la modalidad beta a 14 °C, es necesario, para que la transformación se complete, que pasen varios días. Y este ciclo de transformaciones puede repetirse una y otra vez en ambos sentidos.¹²

Del mismo modo que la cristalización de un compuesto en solución es más rápida cuanto más frecuentemente se repita ese proceso (como hemos señalado en la sección 5.6), la transformación de un polimorfo en otro debe ocurrir también con una rapidez proporcional a su frecuencia de formación. De ahí que las transformaciones entre diferentes modalidades de cristalización puedan proporcionarnos indicios interesantes para corroborar la resonancia mórfica.

Estas transformaciones deben verse controladas de continuo, ya sea a través de las propiedades ópticas (como sucede, por ejemplo, en los casos del nitrato de potasio y del NMTAOP), o bien por otros medios. Tengamos en cuenta, en

este sentido que, cuando se transforman, algunos cristales mudan de color, mientras que, en otros casos, cambian sus propiedades eléctricas o magnéticas.¹³ Las transformaciones pueden ser provocadas por calentamiento, por enfriamiento, aplicando presión o por una combinación entre varios de esos cambios. ¿Aumenta acaso la tasa de transformación en condiciones estándares cuanto más frecuentemente se produzca el nuevo polimorfo?

Es importante elegir de forma adecuada, en este caso, como señalábamos al hablar de los puntos de fusión, los compuestos sintéticos para este estudio. No es de esperar cambios en la tasa de transformación de polimorfos naturales, como la calcita y la aragonita, por ejemplo, que existen naturalmente desde hace millones de años, debidos a transformaciones en condiciones de altas presiones y temperaturas que, a lo largo de procesos geológicos, han ocurrido en la corteza de la Tierra. Afortunadamente, disponemos de muchos compuestos orgánicos sintéticos que, por lo que sabemos, jamás han existido en la naturaleza y cuyos polimorfos son de origen reciente.

A.4. ADAPTACIONES EN CULTIVOS CELULARES

Las células vegetales y animales pueden crecer fuera de los organismos en los que se originan y los hay que pueden mantenerse incluso años en cultivos celulares dentro de recipientes de laboratorio. Y, si algunas células así cultivadas pueden enfrentarse a un nuevo reto, otras semejantes, según la teoría de la resonancia mórfica, también deben ser capaces de hacerlo, por más alejadas que se encuentren.

Existen pruebas de la existencia de ese efecto. El biólogo celular Miroslav Hill llevó a cabo, siendo director de investi-

gación del Centro Nacional de Investigación Científica de Villejuif (Francia), durante la década de 1980, el sorprendente descubrimiento de que las células parecían influir a distancia sobre otras células semejantes.

Hill y sus colegas trabajaron con cultivos celulares de hámsteres, tratando de descubrir células mutantes resistentes a un tóxico, la tioguanina. El protocolo estándar del experimento consistía en exponer las células al veneno y ver si alguna de ellas sobrevivía como resultado de alguna extraña mutación azarosa que le permitiera resistirla. Pero lo cierto es que ninguna lo hizo.

El procedimiento normal, durante este estadio, debería haber sido el de exponer las células a productos químicos causantes de mutaciones para aumentar el número de mutaciones azarosas y verificar luego la tasa de supervivencia de las muestras. La creencia convencional afirma que las mutaciones son azarosas y no tienen que ver con la adaptación al entorno. Pero el equipo de Hill decidió seguir uno de los trucos del oficio de los técnicos de laboratorio, que no suele mencionarse en los manuales oficiales de laboratorio. En lugar de analizar cada vez un gran número de células para descubrir la presencia de algunos mutantes resistentes al ataque, decidieron comprobar sucesivas generaciones de células. Fue así como, a intervalos regulares, cultivaban rutinariamente las células, tomaban luego algunas de las de crecimiento rápido y las colocaban en un entorno nuevo, un proceso llamado "paso». En el momento del paso, colocaron también alguna de las células sobre células muertas en recipientes que contenían la toxina y no tardaron en empezar a advertir la presencia de algunas células resistentes.

Hill y sus colegas decidieron determinar la resistencia a la tioguanina utilizando un método de "ensayo serial» que difería el procedimiento habitual en el sentido de que, en cada

paso, se empleaban recipientes nuevos del medio tóxico. Las células de los hámsteres crecían en un cultivo normal y, mientras todavía crecían, se dividían en dos muestras, una de las cuales se colocaba en un entorno nuevo para que pudiera seguir creciendo y la otra en un nuevo recipiente con el entorno tóxico. Así fue como, en cada pasaje, se determinaba la resistencia a la tioguanina de algunas células, mientras se permitía que otras siguieran creciendo normalmente (figura A.2).

Todas las células que empezaban ubicándose en el entorno con tioguanina morían. Al cabo de varios pasos, no obstante, algunas de ellas eran capaces de sobrevivir en el medio tóxico. Habían mutado. Y el hecho de que el número de células que sobrevivían a la toxina fuese cada vez mayor evidenciaba un aumento en la tasa de mutación. Así fue como los descendientes de estas células acabaron siendo capaces de crecer en el medio de ensayo tóxico, poniendo así de relieve que habían heredado la resistencia.¹⁴

Hill y sus colegas emprendieron luego otro experimento con la intención de determinar la posibilidad de repetir el mismo procedimiento con la etionina, otro veneno diferente que no se había utilizado previamente en los estudios de toxicidad con células de hámster. Durante los primeros treinta pasos, un período aproximado de quince semanas, todas las células expuestas a la etionina acabaron muriendo.

«Los pasos posteriores se caracterizaron por una súbita aparición de células mutantes, que eran más frecuentes a cada nuevo paso [...]. Así pues, las células mutantes resistentes a la etionina aparecían en cultivos que se desarrollaban sin selección y emergían, en los cultivos crecientes, como respuesta a un ataque de etionina sobre células en cultivos paralelos de los que se hallaban físicamente separados.»¹⁵

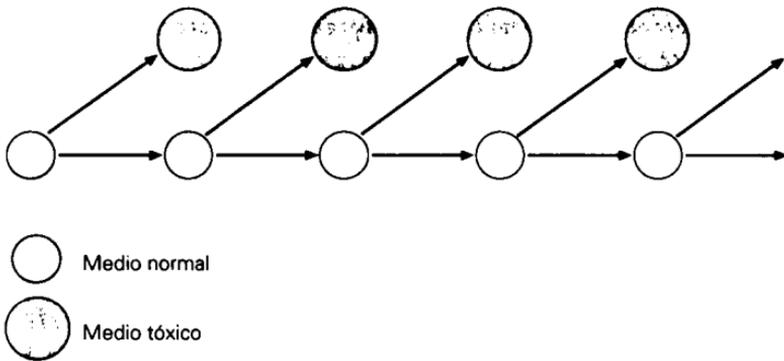


FIGURA A.2. Técnica del "ensayo serial" utilizada por Miroslav Hill. En cada uno de los pasos, algunas células se ven transferidas al medio tóxico y otras, por el contrario, pasan al medio normal.

Y también hay que decir que las células resistentes a la etio-nina tenían descendientes que heredaban esa misma resistencia.

El equipo de Hill investigó luego si la misma técnica podría facilitar la adaptación a altas temperaturas de las células de los hámsteres. Las células crecían, como era habitual, a 37 °C y, en cada uno de los pasos, se retiraban y se comprobaba su resistencia a crecer en un entorno de 40,6 °C.

«Las células de la primera muestra morían al cabo de tres días, durante el segundo ensayo sobrevivieron a una profunda crisis y dieron lugar a once colonias y, en el tercero, acabaron estabilizándose sin experimentar apenas crisis. Esas células siguieron creciendo, a partir de entonces, como la de la línea de la célula a 40,6 °C».

Durante una segunda fase del mismo experimento, esa línea celular se mantenía creciendo a 40,6 °C y, en cada paso, se retiraban muestras y se comprobaba su resistencia a 41,3 °C.

Y aunque, durante los treinta y un pasos siguientes, ninguna célula sobrevivió a esa elevada temperatura, empezaron a aparecer, a partir de entonces, unas cuantas células resistentes al calor cuyo número fue aumentando de forma progresiva. A partir de ese momento, la nueva cepa podía crecer indefinidamente a 41,3 °C. En posteriores experimentos, el equipo de Hill logró consolidar una cepa que podía crecer a una temperatura todavía superior a 42,0 °C, pero, pasado ese límite, ya no pudieron seguir avanzando.

«Parece —en opinión de Hill— que la supervivencia de las células depende del hecho de que sus parientes próximos hayan experimentado ya tal ataque.» Y también subrayó «la existencia de un flujo adicional de información, que no se ve mediado por el ADN y al que podemos referirnos como “información adaptativa”».

¿Cómo se transmitía esta información adaptativa a los parientes próximos? Hill sugería que ocurría porque algunas de las células sometidas al ataque y algunas de las células del cultivo normal eran hermanas y habían sido separadas durante el último paso. Y, al ser descendientes de la misma célula madre, se hallaban “entrelazadas”, en el sentido que tiene tal término en el ámbito de la física cuántica.

Según la teoría cuántica, los sistemas que, en el pasado, formaron parte del mismo sistema se hallan vinculados, por más separados que actualmente se encuentren, de modo tal que el cambio en uno va de inmediato acompañado del cambio en otro, un fenómeno al que Albert Einstein se refirió con la expresión “misteriosa acción a distancia”. Son muchos y muy claros los datos experimentales que corroboran la existencia del entrelazamiento (al que también se conoce como “no localidad cuántica” o “no separatividad cuántica”). Y la sugerencia que, en este sentido, realizó Hill no se limitó a señalar que el funcionamiento de las células hermanas no es

una simple analogía, sino que, en realidad, se trata de sistemas cuánticos entrelazados.

Hill señaló que algunas de las células que luchaban por la supervivencia se adaptaban de tal modo que podían resistir la toxina y que, aun cuando no se hubieran visto expuestas a la toxina, sus células hermanas entrelazadas experimentaban una adaptación semejante. Algunas de las descendientes de estas células hermanas que no se habían visto expuestas se sometieron, durante el siguiente paso, a las condiciones del ensayo y se descubrió, cuando se vieron expuestas al ataque, que ya eran resistentes. Así fue como la proporción de células resistentes fue aumentando, paso a paso, en las células que crecían en condiciones normales (figura A.3a).

La hipótesis de la resonancia mórfica nos proporciona, en este sentido, una interpretación alternativa. Algunas células sometidas al ataque pueden experimentar, como sugiere Hill, cambios adaptativos. Luego las células que habitualmente se hallan sometidas al ataque se sintonizan, por resonancia mórfica, con células pasadas sometidas al ataque, con la adaptación. La propuesta de Hill implica una transmisión de información adaptativa, a través del espacio, de las células hermanas sometidas al ataque a las células hermanas del cultivo normal. La resonancia mórfica implica, por su parte, la transmisión de una información adaptativa, a través del tiempo, de células que, en el pasado, se vieron sometidas al ataque hasta células que, en el presente, se ven sometidas a él (figura A.3b).

Es posible corroborar experimentalmente las distintas predicciones a que dan lugar estas diferentes interpretaciones. Y, para evitar la presencia de cualquier resonancia mórfica con los experimentos realizados al respecto por Hill, podrían emplearse células de ratón en lugar de células de hámster.

Dos líneas celulares diferentes, A y B, se derivan de un cultivo ancestral común. A se va transfiriendo simplemente

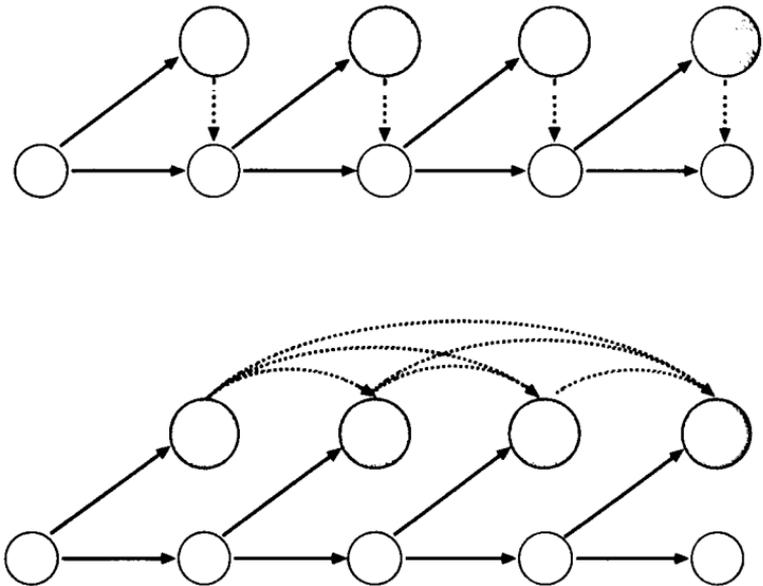


FIGURA A.3. Arriba: interpretación del efecto Hill mediante la hipótesis del "entrelazamiento", en el que células adaptadas al medio tóxico influyen, a través del entrelazamiento (líneas discontinuas), en sus hermanas ubicadas en un entorno normal.

Abajo: interpretación del efecto Hill mediante la hipótesis de la resonancia mórfica, en el que células adaptadas al medio tóxico influyen, por resonancia mórfica (líneas discontinuas curvas) sobre las células subsiguientes ubicadas en el entorno tóxico.

paso a paso a un nuevo medio normal, sin que ninguna muestra se vea sometida al ataque. B, por el contrario, se subcultiva siguiendo el procedimiento de ensayo serial de Hill y, en cada uno de los pasos, algunas de las células se ven sometidas al ataque (figura A.4). Supongamos ahora que, en el quinto paso, aparecen células resistentes en la línea B. La hipótesis del entrelazamiento predice un aumento en la adap-

tación de las células normales de la línea B, pero no de la línea A. A partir del quinto paso, la línea A se ve subcultivada en cada uno de los pasos siguiendo el procedimiento de Hill y sus subcultivos se ven sometidos al mismo ataque que los de la línea B (figura A.4). La hipótesis del entrelazamiento sugiere la presencia de cinco pasos antes de que las células sometidas al ataque empezasen, como antes, a mostrarse resistentes. La hipótesis de la resonancia mórfica sugiere, por su parte, que la resistencia debería empezar a presentarse al cabo de uno o dos pasos, debido a la resonancia mórfica provocada por las células de la línea B.

A.5. TOLERANCIA AL CALOR DE LAS PLANTAS

Los animales y las plantas suelen adaptarse a los cambios de su entorno. Cuando se desplazan a elevadas altitudes, por ejemplo, los seres humanos se aclimatan empleando una amplia variedad de respuestas fisiológicas entre las que se incluye la de fabricar más glóbulos rojos. Las ovejas que se mueven a climas fríos y húmedos se aclimatan desarrollando una capa más gruesa de lana. Y, del mismo modo, las plantas que se trasplantan a un nuevo clima ajustan también su fisiología y sus hábitos de crecimiento.

Los jardineros están familiarizados con estos cambios y saben bien que las plantas que han crecido en invernaderos pueden necesitar aclimatarse para sobrevivir en el exterior. En tal caso, las plantas que van a ser trasladadas a un entorno más frío se ven expuestas de forma gradual a las condiciones externas durante el día y posteriormente también por la noche, antes de ser plantadas en el exterior. Y el proceso de aclimatación puede durar de dos a tres semanas. Son muchos los cambios bioquímicos que tienen lugar en el interior de las

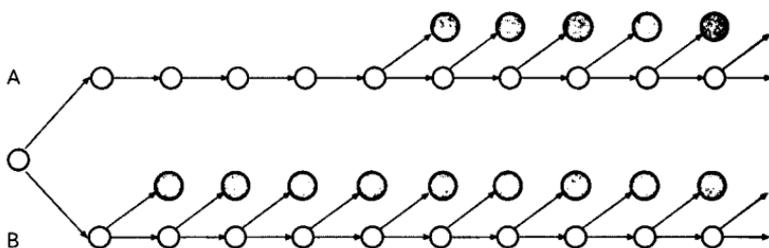


FIGURA A.4. *Diseño experimental que puede contribuir a diferenciar los efectos del entrelazamiento y de la resonancia mórfica en la adaptación de las células a un medio tóxico.*

Abajo: en pasos sucesivos, las células de la línea B se ven ubicadas en un medio tóxico. Después de cinco pasos, por ejemplo, empiezan a aparecer células adaptadas en una proporción que aumenta en los pasos sucesivos.

Arriba: el procedimiento del ensayo serial empieza después de cinco pasos en la línea A. Si lo que estuviese en juego fuese tan sólo el entrelazamiento, las células adaptadas no aparecerían en el medio tóxico hasta cinco pasos después, mientras que, si se tratase de la resonancia mórfica, el efecto aparecería casi de inmediato.

plantas que recubren entonces sus hojas con capas de cera más gruesas. En condiciones naturales, las plantas se aclimatan al frío al comienzo del invierno, cuando caen las temperaturas, lo que las ayuda a soportar el daño provocado por la escharcha, que acaba con las plantas no aclimatadas.

Cuando los granjeros o los jardineros llevan las plantas de un lugar a otro, la adaptación prosigue generación tras generación. Charles Darwin estaba convencido de que los nuevos hábitos desarrollados por las plantas eran heredados como sucede, por ejemplo, cuando las variedades de cereales que habitualmente se siembran en primavera se plantan en otoño y acaban convirtiéndose en variedades de invierno.

«En la conversión recíproca del trigo, la cebada y la algarroba de verano a la de invierno, el hábito produce un marcado efecto en el curso de unas pocas generaciones. Y lo mismo parece ocurrir con las variedades de maíz que, cuando se trasladaron desde Sudamérica hasta Alemania, no tardaron en aclimatarse a su nuevo hogar.»¹⁶

Trofim Lysenko y sus colegas de la Unión Soviética estudiaron la interconversión de las variedades de trigo de invierno y primavera y aplicaron a gran escala con cierto éxito los principios descubiertos. Pero el tema se politizó tanto que los neodarwinistas occidentales acabaron denunciando como un mero fraude los descubrimientos realizados por los investigadores soviéticos.¹⁷ La herencia de los hábitos adaptativos está, para los neodarwinistas, prohibida, ya que, según ellos, lo único que pueden heredarse son los genes.

Darwin no era un neodarwiniano. Su libro *La variación de los animales y las plantas bajo domesticación* recopila una inmensa cantidad de datos que corroboran la herencia de los caracteres adquiridos. Él creía que los hábitos heredados desempeñan, junto a la variación espontánea y la selección natural, un papel muy importante en la evolución: «No dudamos [...] que, bajo la naturaleza, nuevas razas y especies puedan adaptarse, apoyadas en la variabilidad, el hábito y la selección natural, a climas completamente diferentes».¹⁸

La resonancia mórfica proporciona un medio a través del cual los hábitos pueden heredarse, lo que está de acuerdo con las ideas de Darwin. Pero por más que coincida con Darwin, no deja, no obstante, de ser sólo una hipótesis. ¿Desempeña un papel en la adaptación de las plantas a nuevas circunstancias?

Yo propongo una simple prueba en la que las plantas de una cepa endogámica como, por ejemplo, una variedad es-

tándar de guisante crezca a partir de semillas en un entorno controlado a temperaturas tan elevadas que casi resulten letales. Luego se registre la tasa de supervivencia y se repita el procedimiento una y otra vez. Una proporción cada vez mayor de plantas sobrevivirá debido a la resonancia mórfica con aquellas que, en ensayos anteriores, se hayan adaptado exitosamente.

Este experimento puede ser llevado a cabo con dos líneas paralelas. Las plantas de la línea C crecen a partir de un lote original de semillas, de modo que no hay posibilidad alguna de que el cambio adaptativo se transmita a través de los genes (figura A.5 arriba). Cualquier aumento en la adaptación que aparezca con el paso del tiempo se deberá, pues a la resonancia mórfica.

Las semillas de la línea D proceden de las plantas que han sobrevivido a las altas temperaturas y que se utilizan para la siguiente generación (figura A.5 abajo). Cualquier aumento, en esta línea, en la tasa de adaptación generación tras generación podría deberse a una combinación entre la resonancia mórfica y la herencia epigenética.

El reconocimiento de la herencia epigenética, que tuvo lugar después del cambio de milenio, proporciona una explicación legítima de la herencia de los caracteres adquiridos. Y, ahora que disponemos de una explicación mecanicista, parece haberse levantado el tabú previo contra la herencia de los caracteres adquiridos (véase sección 7.7). Los datos a favor de la herencia de los caracteres adquiridos que anteriormente se consideraban anómalos y se veían, en consecuencia, rechazados o ignorados han acabado aceptándose.¹⁹

Si la adaptación tiene efectos epigenéticos heredados, la progenie de las plantas adaptadas mostrará una mayor tolerancia a las elevadas temperaturas que en las plantas que crecen del lote original de semillas (figura A.5). La herencia

epigenética no sólo transmite pautas de activación y desactivación de genes, sino también, al mismo tiempo, asemeja más la progenie de las plantas adaptadas a plantas anteriormente adaptadas y favorece, en consecuencia, su resonancia mórfica con ellas. Cualquier mejora en la adaptación de las plantas de la línea D sería el resultado tanto de la herencia epigenética directa como de una resonancia mórfica aumentada.

La expectativa convencional sería que la línea C no mostrase ningún cambio. La hipótesis de la causación formativa predice que tanto la línea C como la D mostrasen una mayor tolerancia al calor en ensayos sucesivos que, en el caso de la línea D, todavía sería más fuerte.

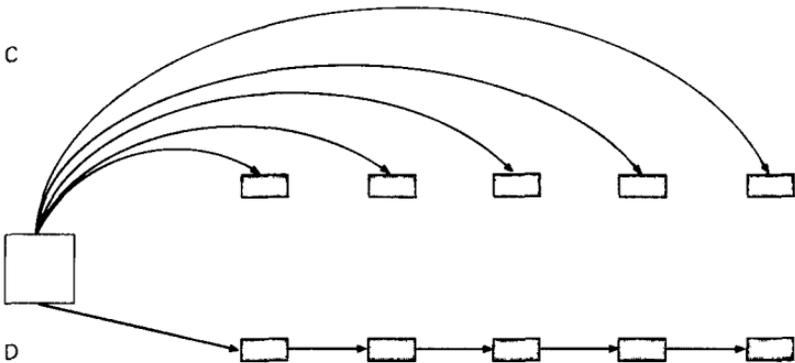


FIGURA A.5. Experimento sobre la tolerancia al calor de las plantas.

Arriba: semillas de una variedad endogámica crecen, en ensayos sucesivos, en condiciones de elevada temperatura. La presencia del fenómeno de resonancia mórfica se pondría de relieve en una mayor adaptación en sucesivos ensayos.

Abajo: semillas tomadas de plantas adaptadas al calor se utilizan en la siguiente prueba. El aumento en la adaptación al calor en sucesivas generaciones puede deberse al efecto combinado de la herencia epigenética y la resonancia mórfica.

A.6. LA TRANSMISIÓN DE LA AVERSIÓN

La aversión condicionada es una forma rápida y duradera de aprendizaje. Los animales evitan comer aquello que les daña. Si uno prueba una nueva comida y poco después enferma, probablemente acabe evitándola. Y esta aversión condicionada tiene lugar también en el caso de los invertebrados. Sus ventajas evolutivas son evidentes, porque contribuye a que los animales eviten alimentos perjudiciales y contribuye positivamente, de ese modo, a su supervivencia.

La aversión condicionada está asociada al tallo cerebral, la parte del cerebro que controla el funcionamiento de los intestinos, la secreción de los jugos gástricos y el vómito. A ese nivel, el aprendizaje discurre de un modo inconsciente. Si una paciente de cáncer recibe quimioterapia que la hace sentirse mal y come poco antes de que comience el malestar, probablemente encuentre nauseabundo su olor el resto de su vida, por más que conscientemente sepa que el malestar no se debió tanto a la comida como a la quimioterapia. En este sentido, la aversión condicionada trasciende toda comprensión consciente.

¿Podría transmitirse, la aversión condicionada, por resonancia mórfica? ¿Si un determinado tipo de animales ha aprendido a experimentar aversión hacia un tipo de comida dañina, tenderán a experimentarla también animales similares como resultado de la resonancia mórfica? Porque ésta parece ser la conclusión provisional a la que apuntan ciertos experimentos preliminares realizados en este sentido.

En 1988, escribí un artículo sobre la resonancia mórfica en el *Guardian*, un periódico británico. Poco después, el mismo periódico publicó una respuesta de Steven Rose, un neurocientífico —reconocido como un polémico marxista—, que me desafiaba a corroborar «esta hipótesis aparentemente absurda» en su laboratorio de la Universidad Abierta.

En esa época, Rose estaba estudiando los cambios provocados por la aversión condicionada en el cerebro de polluelos de un día de edad. Como los pollos picotean instintivamente los objetos pequeños y brillantes de su entorno, el procedimiento estándar seguido por Rose consistía en exponerles a varios estímulos como, por ejemplo, un pequeño diodo emisor de luz verde (led). Poco después de picotearlo, recibían una inyección de cloruro de litio, como resultado de lo cual desarrollaban una aversión a picotear el mismo tipo de objeto. Luego los pollos de control se veían expuestos a un estímulo de control como, por ejemplo, un abalorio cromado, después de lo cual recibían una inyección de una solución salina inerte, sin que ello les provocase ninguna aversión. Esta forma de aprendizaje es diferente a la aversión condicionada al gusto en el sentido de que implica un estímulo visual, pero, como la aversión al gusto, constituye una forma rápida de aprendizaje que puede lograrse en un solo intento.

Rose y yo diseñamos un experimento con un nuevo estímulo, un led amarillo que no se había utilizado anteriormente en experimentos de este tipo, para evitar cualquier efecto de resonancia mórfica con experimentos de aversión anteriores en los que se habían utilizado con leds verdes. En realidad, descubrimos que los pollitos picoteaban el led amarillo mucho más rápidamente que el verde. Había una demora promedio de 4,1 segundos antes de que picoteasen el led amarillo y de 19,0 segundos antes de que hiciesen lo mismo con el led verde.²⁰ Y como estímulo de control utilizamos, en este caso, un abalorio cromado.

El experimento consistió en llevar a cabo las mismas pruebas, durante treinta y siete días, con pollos de un día. La mitad del lote de polluelos, seleccionados al azar, se vio asignada al led amarillo y la otra mitad al abalorio cromado. Luego se inyectaba a los polluelos que habían picoteado el led amarillo

una solución que les enfermaba levemente. Tres horas después, se veían de nuevo sometidos a la misma prueba y expuestos tanto al led amarillo como al cromado. Y aunque, en la mayoría de los casos, evitaron picotear el led amarillo, no mostraron la menor aversión hacia el abalorio cromado. Los pollos de control que habían picoteado el abalorio cromado recibieron una solución salina y tres horas después se les expuso tanto al abalorio cromado como al led amarillo.

El efecto de la resonancia mórfica debería mostrarse, en mi opinión, en el aumento creciente de la aversión al led amarillo de los sucesivos lotes de pollos de un día al verse expuestos a ellos por vez primera. Y esa aversión no se advertiría en el caso de los polluelos de control que hubiesen picoteado los abalorios cromados. Rose, por su parte, predijo que no habría el menor cambio en la tasa de aversión en ninguno de ambos casos.

Pero ¿qué fue lo que finalmente demostraron los resultados? En primer lugar, hubo un efecto que ninguno de los dos había mencionado, pero que, retrospectivamente considerado, ambos deberíamos haber previsto. La cuestión fue que, como la estudiante que llevó a cabo las pruebas jamás había trabajado con pollos, necesitó una semana para aprender a manejarlos. Los datos de los primeros días mostraron un pequeño efecto de aprendizaje..., aunque no tanto de los pollos como de la estudiante. A partir de ese momento, y una vez aprendida la técnica, la pauta que se presentó fue coherente. Con respecto a los controles, los pollos expuestos por vez primera al led amarillo mostraban una aversión cada vez mayor y estadísticamente significativa a picotearlo (figura A.6).

Estos datos son, en mi opinión, coherentes con el efecto de la resonancia mórfica, pero no muestran la menor correlación con la perspectiva sostenida por Rose.²¹

Quizás las ratas nos proporcionen una oportunidad más adecuada para seguir investigando la transmisión de la aversión. La aversión condicionada constituye un problema práctico muy importante para la industria raticida. Si las ratas se ven alimentadas con cebo rociado con una toxina de acción rápida, el veneno mata a unas cuantas ratas, pero las demás no tardan en evitarlo y acaban desarrollando lo que se ha denominado "vergüenza al señuelo". Por ello los raticidas más eficaces son los de acción lenta, como la warfarina, que no provoca malestar después de haberse ingerido. La warfarina, fabricada como raticida en 1952, es un anticoagulante que opera lentamente, porque mata a las ratas a través de una hemorragia interna. Y hay ratas que mueren incluso desangradas después de haber sido mordidas por otras.

Diez años después de la introducción de la warfarina, empezaron a aparecer, primero en Inglaterra y luego en otras partes de Europa, Estados Unidos y Asia, cepas de ratas resistentes. Durante la década 1970, los fabricantes del veneno se enfrentaron al reto produciendo una segunda generación de raticidas, las llamadas "superwarfarinas", como el brodifacoum, un agente tóxico cuya resistencia está aumentando ahora en todo el mundo.²²

Cuando el veneno anticoagulante consigue erradicar a todas las ratas de una plaga, los operativos de control de plagas habitualmente pasan a utilizar un raticida de acción rápida como el fosfuro de zinc. Y, como las ratas no tardan en desarrollar "vergüenza al señuelo", se utiliza una técnica llamada "precebado", que consiste en alimentar a las ratas con una comida apetitosa que no contiene veneno a la que, cuando se han acostumbrado, se añade fosfuro de zinc. Y como las ratas, en tal caso, se muestran menos cautelosas, comen lo suficiente como para morir.

En ausencia de precebado, las ratas individuales sólo pue-

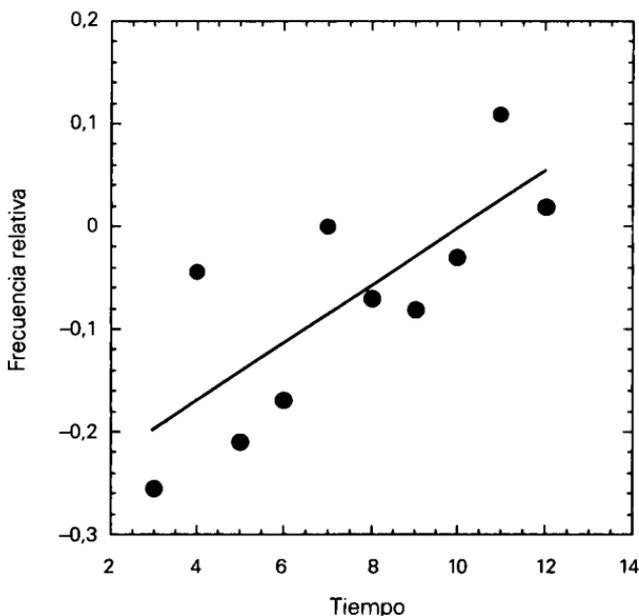


FIGURA A.6. Experimento con polluelos de un día sobre la aversión condicionada. Los pollos "experimentales" se vieron expuestos a un diodo emisor de luz amarilla (led), mientras que los pollos de control se vieron expuestos a un abalorio cromado. Los resultados del experimento pusieron de relieve un aumento en la demora de la conducta de picotear el led relativo al estímulo control en sucesivos periodos de tres días. La medida de la demora o "latencia" fue el porcentaje de pollos que no habían picoteado el estímulo en 10 segundos (Sheldrake, 1992).

den comer una pequeña cantidad de cebo envenenado. Luego caen enfermas, pero se recuperan y, debido a la aversión condicionada al gusto, desarrollan "vergüenza al señuelo". Como las ratas son animales sociales, las que han desarrollado "vergüenza al señuelo" transmiten a las demás su aversión mediante el "aprendizaje social". Un elemento fundamental del aprendizaje social es la imitación, especialmente la imita-

ción que los hijos hacen de la conducta de sus padres. Otro elemento es el olor de la respiración, que transmite al resto de los miembros de la colonia información sobre lo que acaban de comer. La resonancia mórfica también puede desempeñar un papel muy importante en el aprendizaje social. Pero, cuando la “vergüenza al señuelo” se propaga por la colonia, resulta imposible determinar las contribuciones relativas a la resonancia mórfica y a otros tipos de transmisión de información. Para verificar la resonancia mórfica, sería necesario comparar la conducta de colonias que se hallen separadas por miles de kilómetros.

Esbozemos ahora un posible y sencillo diseño experimental al respecto. A un par de alimentos nuevos, G y H, se les dota de un sabor inusual que es muy improbable que las ratas hayan encontrado antes. Luego se eligen diez colonias, que se hallan a miles de kilómetros. A cinco de ellas, seleccionadas al azar, se les proporciona G y H, tomando nota de la tasa de alimentación de las ratas. Luego se selecciona al azar uno de ambos alimentos —por ejemplo, G— y se envenena con pequeñas dosis de fosfuro de zinc, con lo que las ratas desarrollan “vergüenza al señuelo” y evitan G.

Luego las ratas de las otras cinco colonias reciben G y H no envenenado. Si la resonancia mórfica está operando, las ratas deben mostrar una tendencia similar a evitar G, pero no H.

Experimentos parecidos a éste podrían ser realizados, en condiciones controladas, con colonias cautivas de ratas o ratones, pero, para reducir el sufrimiento innecesario, sería más adecuado llevar a cabo estos experimentos en situaciones en las que los animales tuviesen que acabar, en cualquier caso, envenenados.

A.7. LA EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTA ANIMAL

En *La presencia del pasado* describí la expansión de una nueva pauta de conducta que sugería la presencia de la resonancia mórfica: el robo de nata que llevaban a cabo los herrerillos. En Inglaterra, el lechero dejaba (y sigue dejando todavía) una botella de leche, cada mañana, exceptuando el domingo, en las puertas de las casas. Durante la década de 1920, el herrerillo y varias especies de pájaros relacionados empezaron a robar leche destapando la botella y bebiéndose la nata que se depositaba en la parte superior.

El primer dato registrado al respecto procede del año 1921 en Southampton y su difusión por toda Gran Bretaña se vio monitorizada, entre 1930 y 1947, por observadores de aves aficionados. Las especies más implicadas en esta conducta eran los herrerillos, los gorriones y los carboneros. Y, cuando se descubría la presencia, en algún lugar, de un robador de nata, el hábito no tardaba en extenderse por mera imitación.

Los herrerillos no suelen alejarse más que unos pocos kilómetros de su nido y la presencia de este hábito en lugares que se hallen alejados más de 25 kilómetros probablemente represente, para un determinado pájaro, un nuevo descubrimiento. Un detallado análisis de los registros llevados a cabo por los científicos de la Universidad de Cambridge mostró que el robo de nata probablemente se descubrió de manera independiente no menos de 89 veces en las Islas Británicas y la difusión del hábito aumentaba con el paso del tiempo.²³

El hábito apareció también en Europa continental, especialmente en Suecia, Dinamarca y Holanda. Los registros procedentes de Holanda son, en este sentido, especialmente interesantes, porque el reparto de leche se detuvo durante la

Segunda Guerra Mundial y no volvió a comenzar hasta 1947. Como los herrerillos viven tan sólo unos pocos años, probablemente ninguno de los que habían aprendido este hábito antes de la contienda hubiese sobrevivido hasta esa fecha. A pesar de ello, sin embargo, el ataque a las botellas de leche no tardó en reaparecer: «Era evidente que el hábito se inició simultáneamente en muchos lugares diferentes e implicó a muchos individuos».²⁴

Digamos incidentalmente que, en la actualidad, el robo de nata parece estar desapareciendo. A finales de la década de 1980, los herrerillos atacaban regularmente las botellas de leche que el lechero dejaba en la puerta de la casa de nuestra familia en Londres. A comienzos de los años noventa, dejamos de beber leche entera y, como muchas otras personas, nos pasamos a la leche semidesnatada, con lo que los ataques no tardaron en desaparecer. Hace más de diez años que no veo ninguna botella de leche atacada por los herrerillos, que siguen pululando, no obstante, por la vecindad. Es como si, habiendo tan poca nata que robar, los pájaros hubiesen renunciado a ella.

Son muchos los ejemplos de una evolución rápida de nuevas pautas de conducta que sugieren que la resonancia mórfica puede, en este sentido, haber desempeñado un papel.

Según el eminente naturalista tejano Roy Bedechek, cuando el alambre de espinos se introdujo por vez primera a finales del siglo XIX, los escépticos insistieron en que jamás acabaría impidiendo el paso de los caballos. Los caballos «se cortaban la garganta, se arrancaban grandes jirones de carne del pecho y las heridas no fatales o las meras cicatrices acababan infectadas con gusanos barrenadores». En 1947 escribió «todavía recuerdo la época en la que apenas si podía encontrarse, en las granjas o ranchos de Texas, caballo que no llevara consigo las cicatrices de sus desafortunados en-

cuentros con el alambre de espinos». ²⁵ A mediados del siglo XX, sin embargo, ése había dejado ya de ser un serio problema: «En medio siglo, el caballo había aprendido a evitar el alambre de espinos. Los potrillos rara vez quedan atrapados. Es como si las nuevas generaciones hubiesen desarrollado un nuevo miedo».

Bedeck se refirió al cambio de la reacción de los caballos al automóvil:

«Cuando aparecieron los primeros automóviles, el tráfico de tracción animal se hallaba muy desorganizado. Los conductores más considerados sacaban el vehículo de la calzada y apagaban el motor apenas atisbaban la proximidad de un vehículo de tracción animal. Pero no sólo eso, sino que el automovilista podía llegar a salir incluso de su vehículo para ayudar al conductor y tranquilizar al resoplante animal para que hiciese marcha atrás. Muchos vehículos se vieron destrozados y muchos caballos acabaron con el cuello roto cuando estos animales conocieron el automóvil y tuvieron que familiarizarse con él, y fueron muchas las exigencias para que el automóvil se mantuviera en su sitio [...] Pero hace ya mucho tiempo que los cuellos rotos que, en el pasado, jalonaban esos encuentros han pasado a la historia.» ²⁶

Otro ejemplo de esta evolución de la conducta animal nos lo proporciona el guardaganados, una infraestructura hueca cubierta de una serie de raíles o tubos paralelos de acero que imposibilitan físicamente el paso del ganado sin obligar, no obstante, a los vehículos a detenerse y abrir una cerca. El guardaganado fue inventado, en el siglo XIX, en Estados Unidos, para impedir que los animales atravesaran la vía férrea, en donde empezaron a utilizarse en torno a 1905 ²⁷ y su uso ha terminado expandiéndose a muchos otros países.

Cuando el guardaganado empezó a introducirse, los animales se vieron obligados a aprender del modo más difícil que no podían pasar. Pero ése ya no es el caso, porque los animales domésticos parecen hoy en día evitarlos instintivamente.

Varias décadas atrás, los rancheros del Oeste americano descubrieron la posibilidad de ahorrarse dinero utilizando falsos guardaganados, que consistían en simples rayas pintadas transversalmente a la calzada, una medida igualmente eficaz, que los animales ni siquiera trataban de cruzar.

Como respuesta a mis indagaciones, varios rancheros del oeste de Estados Unidos me dijeron que ya no es necesario que el rebaño se vea expuesto a verdaderos guardaganados, porque ejemplares que jamás han visto un guardaganado de verdad evitan ahora el falso. Cuando un animal joven se aproxima a una reja pintada «frena —como me dijo muy gráficamente un granjero— con las cuatro patas». Ésta es una observación que se ha visto corroborada por la correspondencia que he mantenido con investigadores del departamento de ciencia animal de la Universidad Estatal de Colorado y la Universidad Agrícola y Mecánica de Texas (A & M) que confirmaron esta observación.

El profesor Ted Friend, de la A & M, analizó sistemáticamente las respuestas de varios centenares de cabezas de ganado al guardaganados pintado y descubrió que lo evitaban tanto los animales ingenuos como los que anteriormente se habían visto expuestos tanto a las cercas reales como a las virtuales. También las ovejas y los caballos mostraban una aversión innata a cruzar las rejas pintadas. Sin embargo, el hechizo provocado por la falsa reja puede romperse. Y es que, cuando los animales se ven impulsados por la presión o cuando descubren que, al otro lado, hay alimento, algunos de ellos acaban, después de examinarlas atentamente, cruzando

las falsas barreras. Y, cuando un animal cruza la frontera, el resto del rebaño no tarda en seguirle, momento a partir del cual la falsa cerca deja de cumplir con su cometido.²⁸

Quizás el guardaganado pintado funcione simplemente porque genere la ilusión de una caída. Pero, en tal caso, debería haber funcionado siempre y algunos granjeros no tendrían que haber utilizado nunca una barrera real. Sería interesante descubrir si las especies *salvajes* que nunca han sido expuestas al guardaganado muestran una aversión semejante a cruzarlo. También sería interesante descubrir si el ganado responde por igual a una variedad de pautas rayadas o simplemente a aquellas que se asemejan al guardaganado.

Resulta interesante constatar, en este sentido, la aparición de una nueva respuesta al guardaganado. En 1985, las ovejas de las proximidades de Blaenau Ffestiniog (Gales) empezaron a escapar de sus pastos aprendiendo a rodar sobre las rejillas. Y lo mismo sucedió en las proximidades de Malmö (Suecia). Un editorial del *Guardian* decía, a este respecto, que:

«Por lo que, hasta el momento, sabemos, las ovejas de Yorkshire Dales, de la variedad swalesdales o dalesbered, todavía no dominan la técnica de atravesar los guardaganados tumbándose sobre el suelo y rodando sobre él. Pero las ovejas de Blaenau Ffestiniog, que son de una raza diferente, han aprendido el modo de hacerlo (para molestia del pueblo, que se ha visto obligado a colocar una cerca), cosa que también han tenido que hacer los granjeros para contener a las ovejas de las tierras bajas del sur de Suecia. Entre las preguntas que, al respecto, se nos ocurren está la del tiempo que necesitarán para aprender las swalesdale y si su descubrimiento, cuando lo hagan, supondrá una demostración de la teoría de la causalidad formativa».²⁹

Doce años más tarde se observó a las primeras ovejas cruzando los guardaganados de Hampshire. Y, para ello, empezaron utilizando una técnica de “comando”, en la que una de ellas se tumbaba sobre el guardaganado, mientras las demás pasaban luego rodando sobre ella. Pero lo cierto es que no tardaron en aprender a cruzar rodando sobre las barras de la rejilla, como las ovejas galesas,³⁰ una conducta parecida que también se ha observado en el cantón suizo de Valais.³¹

En el año 2004, diecinueve años después de que los editores del *Guardian* anticipasen esa posibilidad, las ovejas de Yorkshire Moors empezaron a escapar de los páramos en que se hallaban recluidas rodando sobre el guardaganado y destrozando los huertos vecinos.³²

Los animales, tanto salvajes como domésticos, siguen evolucionando en respuesta a los cambios provocados por el ser humano en su entorno y la aparición de nuevas pautas de conducta nos proporciona la ocasión de documentar su difusión. La observación del robo de nata en las Islas Británicas llevada a cabo, durante los años treinta y cuarenta del siglo pasado, por aficionados nos proporciona un buen precedente para ilustrar la posible participación en este tipo de investigación. Porque, aunque tales estudios jamás lleguen a proporcionarnos datos tan claros como los experimentos de laboratorio, arrojan mucha luz sobre el posible papel desempeñado por la resonancia mórfica en la evolución, que tiene implicaciones muy diferentes para la teoría neodarwiniana.

A.8. MEMORIA COLECTIVA HUMANA

Según la teoría de la resonancia mórfica, cuantas más personas hayan aprendido algo en el pasado, más sencillo resultará de aprender en el presente. Todo el mundo extrae algo del

recuerdo colectivo humano y a su vez contribuye, de algún modo, a él.

En 1982, la revista británica *New Scientist* puso en marcha un concurso con la intención de recopilar ideas que contribuyesen a corroborar la hipótesis de la resonancia mórfica. El experimento ganador, que implicaba el aprendizaje de canciones infantiles turcas, fue propuesto por el psicólogo Richard Gentle. La propuesta consistía en pedir a personas de habla inglesa que memorizasen un par de cortas canciones en turco, una antigua canción de cuna que, desde hacía años, habían cantado millones de turcos y otra canción tradicional a la que se había agregado una nueva letra. Después de que los participantes, que ignoraban, por cierto, cuál de ambas era la realmente tradicional, las memorizasen, se les pasaba una prueba para tratar de determinar cuál recordaban mejor. La hipótesis sugería que, si la resonancia mórfica realmente funcionaba, sería más fácil de memorizar la canción tradicional que la nueva.

Éste es un buen ejemplo del tipo de prueba en la que se compara un campo mórfico muy consolidado con un aprendizaje más nuevo. Son muchas las pruebas de resonancia mórfica de este tipo que se han llevado a cabo, la mayoría de las cuales han dado resultados positivos.

Yo tuve en cuenta la sugerencia de Gentle, pero, en lugar de utilizar canciones de cuna turcas, empleé canciones japonesas. El conocido poeta japonés Shuntaro Tanikawa tuvo la amabilidad de enseñarme una canción infantil conocida por generaciones de niños japoneses y otras dos de estructura semejante especialmente compuestas para la ocasión, una con sentido y la otra absurda. En las pruebas que, al respecto, llevamos a cabo en Gran Bretaña y Estados Unidos, los sujetos recordaban mucho mejor la letra que tenía sentido que las otras.³³ Pero este experimento pone de relieve un problema

que también afecta a todos los experimentos de este tipo. ¿Cómo puede uno estar seguro de que la nueva letra, con la que la antigua está comparándose, posee una estructura similar? Quizás las letras de las canciones de cuna reales sean populares debido a ciertos rasgos que las hacen más fáciles de recordar. Y, por más probable que sea que un poeta es más capaz de producir rimas que un aficionado, también resulta difícil saber si, en ausencia de toda resonancia mórfica, la nueva letra será intrínsecamente comparable a la vieja.

Las pruebas realizadas en este sentido han implicado idiomas desconocidos. La idea de partida de Gary Schwartz, profesor de psicología de la Universidad de Yale, que fue uno de los primeros en llevar a cabo una investigación al respecto, era la de que las palabras ordinarias debían estar asociadas a campos mórficos que facilitasen su reconocimiento. Así, por ejemplo, la palabra inglesa «*cat*» es una totalidad (una *gestalt*) que debe estar ligada a un campo mórfico sostenido por resonancia de millones de lectores en el pasado, cosa que no sucedería, por ejemplo, con otra palabra sin sentido compuesta por las mismas letras como «*tca*», por ejemplo. Y Schwartz supuso que quienes no estaban familiarizados con textos de otro idioma podían descubrir más fácilmente las palabras reales de ese lenguaje que las falsas.

Luego Schwartz seleccionó 48 palabras de tres letras incluidas en el Antiguo Testamento hebreo, 24 comunes y 24 raras, y produjo un anagrama sin sentido para cada una de ellas, logrando así un total de 96 palabras. Posteriormente se proyectaron, una tras otra, esas palabras, siguiendo un orden completamente aleatorio, sobre una pantalla. Luego se pidió a los participantes del estudio que adivinasen el sentido de cada una de ellas asociándola a la primera palabra inglesa que se les ocurriese valorando simultáneamente, en una escala de 0 a 4, el grado de certeza que atribuían a la conjetura

que acababan de realizar. No se les explicó el objetivo del experimento ni se les dijo tampoco que algunas de las palabras no tenían sentido. La prueba dependía totalmente de la pauta visual de las palabras escritas y no implicaba escucharlas ni tratar tampoco de pronunciarlas.

Schwartz excluyó a los pocos participantes que adivinaban siempre el significado correcto, basándose en la idea de que podrían tener algún conocimiento del hebreo. Luego examinó las respuestas de los participantes que daban siempre un significado equivocado. Y descubrió que, hablando en términos generales, confiaban más en su conjetura cuando se referían a las palabras reales que a las revueltas, aunque ignorasen cuáles eran unas y cuáles otras. Y ese efecto resultó ser dos veces más intenso con palabras comunes que con palabras reales, un resultado estadísticamente muy significativo.³⁴

Sólo después de que Schwartz hubiese llevado a cabo la prueba, informó a sus sujetos de que la mitad de las palabras eran reales y la otra mitad falsas. Luego les mostró de nuevo, una tras otra, las palabras, solicitándoles que adivinasen cuál era cual, una prueba cuyos resultados no superaron a los debidos al mero azar. En este sentido, los participantes se mostraron incapaces de hacer conscientemente lo que ya habían hecho inconscientemente. Schwartz interpretó la mayor confianza de los sujetos sobre su conjetura de las palabras reales en una especie de "efecto de reconocimiento de la pauta inconsciente".

El psicólogo del Hatfield Polytechnic (Inglaterra) Alan Pickering utilizó, en lugar de palabras hebreas, palabras persas escritas también en persa. Su prueba incluía también, como la de Schwartz, palabras verdaderas y palabras sin sentido. A los participantes se les mostraba una palabra, con la intención de que la contemplasen durante diez segundos y luego se les pedía que la dibujasen. Jueces independientes

valoraban posteriormente las reproducciones de las palabras reales y de las palabras falsas, sin que el experimentador o los jueces supieran cuáles eran unas y cuáles las otras. Los resultados de este experimento demostraron que la reproducción de las palabras reales era significativamente más exacta que la de las falsas.

Experimentos realizados más tarde por estudiantes como Nigel Davidson con palabras persas y Geraldine Chapman con palabras árabes dieron resultados positivos similares.

El psicólogo estadounidense Arden Mahlberg realizó una prueba semejante utilizando, en este caso, el código Morse. Elaboró una nueva versión asignando puntos y rayas a diferentes letras del alfabeto y utilizando, para ello, sujetos que desconocían el código Morse. Luego comparó la capacidad de aprender el nuevo código y el código Morse verdadero, presentando el material en forma escrita. (Hay que decir que, en este caso, las letras "s" y "o" se vieron excluidas, porque la mayoría de las personas que desconocen el Morse están, no obstante, familiarizadas con la transcripción correspondiente a "SOS"). Los resultados demostraron que, hablando en términos generales, los participantes aprendieron el código Morse real de un modo significativamente más exacto que el nuevo.³⁵

El profesor de psicología de la Universidad de Göttingen (Alemania) Suitbert Ertel investigó el posible efecto de la resonancia mórfica en el reconocimiento del hiragana, un sistema caligráfico japonés de base estrictamente fonética. A los sujetos que participaron en este experimento se les mostraba nueve caracteres hiragana diferentes, proyectados ocho segundos sobre una pantalla. Luego recibían una hoja de respuestas con veinte caracteres de entre los cuales debían reconocer los nueve que acababan de ver, una prueba que se repetía en varias ocasiones. Cada participante llevaba a cabo seis intentos

y se observó que el reconocimiento de los caracteres hiragana mejoraba de forma significativa ensayo tras ensayo.³⁶

Ertel supuso que, si la resonancia mórfica desempeñaba, en este sentido, algún papel, los caracteres hiragana se verían mejor reconocidos cuando se hallasen en la posición correcta que cuando estaban boca abajo, porque millones de japoneses los habían reconocido anteriormente de ese modo. Y ése fue, precisamente, el resultado puesto de relieve por el experimento.

Un experimento adicional realizado en el mismo sentido empleó caracteres hiragana artificiales creados por un diseñador gráfico. Antes de llevar a cabo los test de aprendizaje, Ertel y sus colaboradores mostraron a los sujetos caracteres hiragana verdaderos y falsos. Y, cuando les pidieron que diferenciasen los verdaderos de los falsos, se mostraron incapaces de hacerlo. Entonces fue cuando el equipo de Göttingen llevó a cabo las pruebas estándares de memoria y descubrieron que los caracteres reales eran mejor recordados que los falsos, un resultado que cuadraba perfectamente con las previsiones establecidas por la hipótesis de la resonancia mórfica.

Ertel y su equipo llevaron finalmente a cabo una última prueba, que consideraban crucial. La prueba en cuestión se centraba en comparar el efecto de poner los caracteres verdaderos boca abajo y los caracteres falsos boca arriba. Ertel sostenía que la rotación de los caracteres falsos no tendría ningún efecto, porque la resonancia mórfica no desempeñaría ningún papel en el reconocimiento de estos caracteres colocados en su posición supuestamente correcta.

Los resultados fueron confusos y la interpretación de Ertel difícil de seguir. Las dos primeras pruebas no evidenciaron diferencia alguna entre la adecuación del reconocimiento de los caracteres hiragana falsos boca abajo y boca arriba

(figura A7). En las pruebas subsiguientes, sin embargo, los caracteres hiragana falsos se veían mejor recordados cuando estaban boca arriba. Ertel afirmaba que la mayor tasa de aprendizaje de los últimos intentos realizados con los hiragana falsos boca arriba podían deberse a “factores intrínsecos” que nada tenían que ver con la resonancia mórfica. Pero resulta sorprendente que no llevase a cabo ningún análisis estadístico para corroborar la significatividad estadística del efecto descubierto.

Sin embargo, los caracteres hiragana falsos de Ertel habían sido *diseñados* para que se asemejasen a los caracteres hiragana cuando estaban boca arriba. Es muy probable, por tanto, que su semejanza a los caracteres hiragana reales fuese tan exacta que se viese acompañada del correlato de una sensación “adecuadamente boca arriba”. Pero, aunque este “factor intrínseco” no constituya una alternativa adecuada a la resonancia mórfica, depende de su semejanza genérica con los caracteres hiragana boca arriba, que fue lo que determinó desde el mismo comienzo la puesta en marcha del experimento.

Considerando retrospectivamente las cosas, Ertel llegó a la conclusión de que él y sus discípulos se habían equivocado en sus pruebas iniciales cuando estaban tratando de descubrir si los falsos hiragana eran, en realidad, semejantes a los reales: «Poco a poco fuimos dándonos cuenta de que, en las pruebas iniciales, no habíamos adiestrado adecuadamente a los participantes. Deberíamos haberles pedido que, después de contemplar los cuarenta símbolos de la hoja de papel, marcaran aquellos que les parecían *más sencillos, más agradables y menos extraños*. Ésos fueron los rasgos intrínsecos que otras pruebas habían identificado como relevantes. En su lugar, informamos a los participantes de que había veinte símbolos verdaderos y veinte artificiales y les pedimos que marcaran los que, en su opinión, eran los verdaderos».

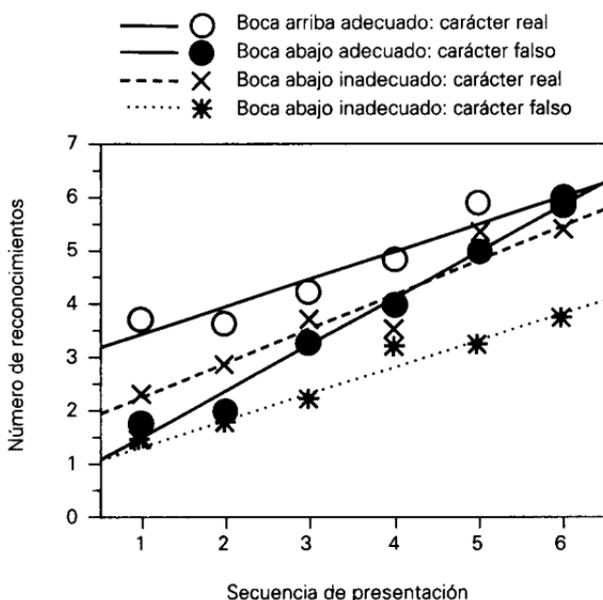


FIGURA A.7. Resultados del experimento llevado a cabo por Suitbert Ertel sobre el reconocimiento de los caracteres hiragana. El eje vertical muestra el número de palabras reconocidas en seis pruebas sucesivas. Los cuatro conjuntos de puntos de datos se refieren a caracteres verdaderos y a caracteres falsos boca arriba y boca abajo. (Reproducida por cortesía de Suitbert Ertel.)

La complejidad de las interpretaciones de Ertel ilustra la dificultad de obtener, con este tipo de experimentos, resultados claros.

Robert Schorn, Gottfried Tappeiner y Janette Walde llevaron a cabo, en la Universidad de Innsbruck, la última prueba realizada de este tipo. Para ello, utilizaron estímulos consistentes en símbolos políticos, religiosos y económicos, como banderas, emblemas y logos registrados que, aunque antigua-

mente muy conocidos, habían caído en el olvido y otros que eran familiares a muchas personas en países extraños, como el símbolo chino de la Coca-Cola, logos de marcas indias o símbolos religiosos del Extremo Oriente. Y un diseñador creaba, para cada uno de los símbolos, un símbolo de control correspondiente de complejidad semejante.

Para descubrir si los nuevos símbolos eran, en realidad, comparables, los experimentadores llevaron a cabo siete pre-test, en los que participaron más de doscientos sujetos, a los que se pidió que indicasen cuál de los símbolos de cada par consideraban menos creíble o menos real. Y hay que decir que, los símbolos falsos que emplearon en la fase principal del experimento eran tan creíbles, o incluso más, que los originales. Y, cuando se presentó a los sujetos, en orden aleatorio, pares de símbolos, uno real y otro falso, pidiéndoles que eligieran el que más "espíritu" parecía tener, los resultados demostraron que seleccionaban los reales significativamente más que los falsos.³⁷

En una segunda prueba, el equipo de Innsbruck comparó palabras rusas reales escritas en caracteres cirílicos con anagramas sin sentido de esas mismas palabras. Una vez más, los estímulos reales se presentaron apareados a estímulos falsos y se pidió a los participantes que juzgasen los que más "espíritu" tenían. Y, una vez más, las palabras verdaderas se vieron seleccionadas con una frecuencia significativamente superior a las de los anagramas.

Conviene señalar aquí que algunas de estas pruebas se llevaron a cabo a través de Internet. Y ello pone de relieve el papel que, en el futuro, puede desempeñar la Red en pruebas automatizadas de resonancia mórfica con una participación amplia del público.

Kimberly Robbins y Chris Roe, de la Universidad de Northampton (Inglaterra) llevó a cabo el experimento más recién-

te realizado en este sentido utilizando caracteres chinos verdaderos y falsos. El diseño experimental fue semejante al de Ertel. Los participantes empezaron observando una presentación en PowerPoint consistente en cinco caracteres chinos falsos y cinco caracteres reales en una secuencia aleatoria, que permanecían en la pantalla durante tres segundos, sin decirles que algunos de ellos eran reales y otros falsos. Luego se les pasó una hoja con veinte caracteres y se les proporcionó la instrucción de rodear con un círculo los diez que acababan de ver. Los otros diez caracteres eran meros “señuelos” (cinco verdaderos y cinco falsos también, en este caso). Los resultados pusieron de relieve la presencia de un reconocimiento mayor y estadísticamente significativo de los caracteres verdaderos que de los caracteres falsos. Los resultados también evidenciaron la presencia, en el caso de los caracteres señuelo, de un número significativamente más elevado de recuerdos falsos de los caracteres reales que de los caracteres falsos, lo que parecía concordar con el posible efecto de la resonancia mórfica.³⁸

Pero todas las pruebas de este tipo se enfrentan al mismo problema de controlar “factores intrínsecos” que pueden hacer más memorables o atractivos a los viejos símbolos, palabras o rimas que a las recién inventadas. Pero ¿representan acaso esos factores intrínsecos una verdadera alternativa a la resonancia mórfica? No olvidemos que aquéllos también pueden depender de la resonancia mórfica.

A.9. LA MEJORA DEL DESEMPEÑO HUMANO

Los nuevos test de este tipo se atienen a dos nuevas pautas. Se trata, en primer lugar, de determinar la facilidad con la que pueden ser descubiertas o reconocidas y, en segundo lugar,

de fortalecer la resonancia mórfica de una de ellas, pero no de la otra. Porque, si la resonancia mórfica desempeña algún papel, la pauta que se haya visto "incentivada" se reconocerá más fácilmente, cosa que no sucederá, por el contrario, con la pauta utilizada como control.

Las primeras pruebas de este tipo se llevaron a cabo, siguiendo una sugerencia de Nicholas Humphrey, con imágenes ocultas. Se trata de imágenes que, al comienzo, parecen absurdas o en las que sólo pueden advertirse vagos indicios (figura A.8a). El momento en que se advierte la imagen subyacente (figura A.8b) implica un cambio súbito de *gestalt* en la que la imagen cobra repentinamente un significado claro. Resulta difícil, a partir de ese momento, no reconocer la imagen oculta. En el caso de que la resonancia mórfica esté operando, la imagen oculta debería ser más fácil de reconocer cuando son muchas las personas que la han visto.

Durante el verano de 1983, la cadena de televisión británica Thames Television me permitió llevar a cabo un experimento de este tipo. Las dos imágenes se vieron especialmente dibujadas para la ocasión por un artista, con la intención de que resultasen lo suficientemente difíciles para que sólo unas cuantas personas pudiesen descubrir la imagen oculta. Antes de que la cadena emitiera las imágenes, las envié a colaboradores de Europa, África y ambas Américas. Cada experimentador mostraba, antes de la transmisión, durante un minuto, ambas imágenes a un grupo de participantes y después hacía lo mismo con otro grupo parecido. Finalmente se tomaba nota del número de personas que reconocían la imagen oculta.

Los experimentadores desconocían cuál de las imágenes iba a mostrarse en televisión y yo tampoco lo sabía. En el mismo programa de televisión, una de ellas se vio seleccionada al azar y mostrada a cerca de dos millones de teleespectadores. Pasados varios segundos, la respuesta se reve-

laba poniendo de relieve la imagen anteriormente oculta. Al finalizar el programa, volvió a mostrarse una vez más la misma imagen.

Y, aunque el porcentaje de personas que, antes y después de emitirse por televisión, reconocieron la imagen de control no experimentase ningún cambio, el de quienes, en las Islas Británicas, reconocían la imagen mostrada en televisión aumentó. Y se trataba de un efecto estadísticamente significativo, con una probabilidad de que sólo se debiera al azar inferior a un 1%.³⁹

El mismo experimento se repitió, utilizando imágenes diferentes, en noviembre de 1984, en un programa de divulgación científica de la BBC llamado *Tomorrow's World*. Se trataba, una vez más, de un enigmático dibujo que ocultaba también una imagen. Experimentadores de todo el mundo determinaron la proporción en la que diferentes grupos de participantes reconocían, antes de haber transcurrido medio minuto, las imágenes ocultas. Las pruebas se llevaron a cabo durante un período de cinco días antes de la emisión por televisión de las imágenes en Inglaterra y con un número semejante de participantes durante un período de cinco días después. Llegado el momento, se seleccionó al azar, de entre dos alternativas, una imagen, que se mostró luego a ocho millones de espectadores y a los que finalmente se reveló la respuesta.

El experimento puso de relieve un aumento significativo en la tasa de reconocimiento de la imagen oculta en cualquier otro lugar, cosa que no sucedía con la imagen de control. Pero lo curioso es que ese efecto positivo se limitó a los participantes de la Europa continental y no tuvo el menor efecto en Estados Unidos. Ese resultado era sorprendente porque, teóricamente hablando, la resonancia mórfica no debería depender del espacio. Una posible explicación fue que la dife-



FIGURA A.8a. *Imagen oculta como las utilizadas en las pruebas de resonancia mórfica de la televisión. La figura A.8b pone de relieve lo que la A.8a oculta.*

rencia horaria existente entre Inglaterra y el continente es tan sólo de una hora y los europeos, en consecuencia, deben hallarse más “en fase” con la audiencia de la televisión británica que los estadounidenses, con los que la diferencia horaria es de entre cinco y ocho horas.

La emisora de televisión alemana Norddeutscher Rundfunk llevó a cabo, en febrero de 1985, un nuevo experimento parecido con imágenes ocultas. De nuevo se emplearon dos imágenes, de las cuales sólo una se emitió por televisión. El experimento en cuestión se vio coordinado, desde Freiburg im Breisgau, por Susan Fassberg. Ella también organizó las cosas para que miles de personas de todo el mundo, espe-



FIGURA A.8b. *Imagen oculta en la figura A.8a*

cialmente de Inglaterra, pasaran la prueba. Y, como pusieron de relieve los experimentos anteriores, no hubo cambio significativo alguno en el porcentaje de quienes reconocían la imagen control. ¡Pero lo más extraño fue que, después de que cerca de un millón de personas viesen la imagen en el norte de Alemania, el porcentaje de personas que la reconocían *cayó* en Inglaterra y en otros lugares! Y se trataba de una disminución significativa, inferior al 2% de probabilidad de que el efecto se debiese al mero azar. El resultado, desde el punto de vista de la resonancia mórfica, debería haber sido un aumento, mientras que, desde la perspectiva escéptica, no debería haberse presentado ningún cambio.

Se trataba, pues, de un resultado que nadie presagiaba y ponía de relieve la existencia de otros factores. Pero ¿de qué

factores se trataba? Nadie parecía saberlo y el sorprendente descubrimiento desalentó a quienes estaban interesados en realizar pruebas por televisión, que resultaban muy difíciles de llevar a cabo.

En 1987, el Instituto de Ciencias Noéticas (IONS), próximo a San Francisco (California), anunció a sus estudiantes la convocatoria de un concurso destinado a premiar el mejor diseño experimental para investigar el efecto de la resonancia mórfica. Un panel independiente de jueces valoraría las investigaciones presentadas y los resultados se anunciarían públicamente en 1991.⁴⁰

La ganadora de este premio fue Monica England, estudiante de psicología de la Universidad de Nottingham (Inglaterra). La prueba en cuestión se vio alentada por pruebas anecdóticas que parecían señalar que a algunas personas les resultaba más fácil hacer los crucigramas de los periódicos del día anterior que los del mismo día en que aparecían, un efecto que podría deberse a la resonancia mórfica provocado por las miles de personas que ya lo habían resuelto.

El experimento en cuestión giraba en torno a un par de acertijos de un periódico de Londres, el *Evening Standard*, que no se distribuía en Nottingham, que colaboró amablemente proporcionando un “crucigrama fácil” (en el que las pistas procedían de simples definiciones) y un “crucigrama rápido” (que utilizaba, por el contrario, sinónimos) una semana antes de que se publicasen.

Monica England pasó la prueba a cerca de cincuenta estudiantes el día antes de que los crucigramas viesan la luz en Inglaterra y a otros cincuenta un día después. Ambos grupos de participantes recibieron también dos crucigramas de control que se habían publicados en el *Evening Standard* quince días antes. Los participantes contaron con diez minutos para resolver el mayor número de pistas posibles.

Hablando en términos generales, la respuesta de los participantes mejoró significativamente después de que el crucigrama fácil hubiese sido publicado y fue peor cuando lo realizaron antes de ser publicado. No hubo cambio alguno en los resultados obtenidos con el crucigrama de control, ni tampoco en el caso del crucigrama rápido.

En 1990 repetí este mismo experimento utilizando, una vez más, crucigramas fáciles y rápidos del *Evening Standard* con la ayuda, en este caso, de colaboradores que vivían lejos de Londres, donde los participantes difícilmente podían haber accedido a ese periódico de difusión estrictamente londinense. De nuevo, las puntuaciones fueron comparadas, en ambos casos, con las del grupo de control y los resultados pusieron de manifiesto una ligera mejora, que no llegaba, no obstante, a ser significativa, en la puntuación del crucigrama fácil después de haber sido publicado. Sí que había, por el contrario, un aumento estadísticamente significativo en las puntuaciones relativas al crucigrama rápido. Los resultados, pues, son incoherentes, mostrando un efecto positivo con un crucigrama, aunque no con el otro, como sucedió en el experimento de Monica England. El efecto positivo influía, en su caso, en el crucigrama fácil, mientras que, en el mío, el que se veía afectado era el crucigrama rápido.

Reflexionando en estos resultados, me di cuenta de que yo estaba dando por sentado que todos los crucigramas eran nuevos y asumía que no se veían afectados por la resonancia mórfica de los crucigramas del pasado. Pero entonces me enteré de que los compiladores de crucigramas solían reciclar pistas utilizadas en crucigramas anteriores. De ahí que los crucigramas simples no sirvan para corroborar la resonancia mórfica, porque muchas de las pistas utilizadas hacía mucho tiempo que ya no eran nuevas.

Zoltan Dienes que, por aquel entonces, trabajaba para el

departamento de psicología de la Universidad de Oxford, ganó el premio IONS para estudiantes graduados. Su experimento pedía a los sujetos que decidiesen rápidamente si una determinada secuencia de letras que aparecían en la pantalla de un ordenador era una palabra inglesa con sentido o una mera no-palabra. Este experimento implicaba un fenómeno que los psicólogos conocen como “efecto de repetición” [*repetition priming*] que tiene lugar cuando la exposición repetida a una determinada palabra (u otro estímulo) aumenta la velocidad de su reconocimiento. Dienes afirmaba que, de ser cierta la hipótesis de la causación formativa, el reconocimiento de una determinada palabra aumentaría en el caso de que otros la hubiesen reconocido anteriormente.

Los sujetos que participaron en su experimento se vieron expuestos a series de letras destellando en una pantalla del ordenador y debían responder, pulsando una tecla lo más rápidamente posible, si se trataba de una palabra real o no. Para ello, Dienes utilizó dos conjuntos de palabras y de no-palabras. El primer conjunto de palabras “compartidas” se presentaba a un total de noventa participantes, mientras que el segundo, compuesto por palabras “únicas”, sólo se presentaba a uno de cada diez. El experimento implicaba a ochenta “repetidores” que sólo veían el estímulo compartido y diez “resonadores”, que veían el estímulo compartido junto al único. Según la hipótesis de partida, si la resonancia mórfica desempeñaba algún papel, aumentaría la velocidad de reconocimiento del estímulo compartido comparada con la velocidad de reconocimiento adecuado del estímulo único. Y, para maximizar el efecto de la resonancia entre participantes, todas las pruebas experimentales se llevaron a cabo en un entorno en el que se controlaron también las pistas visuales, olfativas y auditivas.

El resultado del experimento no sólo fue positivo, sino también estadísticamente significativo, mostrando que, cuan-

to más frecuentemente había sido vista antes una determinada no-palabra, con más rapidez respondían después a ella los “resonadores”. Pero, cuando Dienes trató de replicar este experimento en la Universidad de Sussex no advirtió, no obstante, ningún efecto significativo.⁴¹

Además de las pruebas ya mencionadas, el profesor Suitbert Ertel llevó a cabo también un par de experimentos de este nuevo tipo. El primero de ellos tuvo lugar utilizando una revista llamada *Übermorgen*. El experimento en cuestión se basaba en anagramas, como *Seterleieri* (en lugar de *Reisenleiter*), y los lectores debían descubrir cuáles eran las palabras normales. Luego se les pedía que repitiesen cada anagrama y la palabra correspondiente lo más frecuentemente posible y que, cuando la hubiesen memorizado, enviaran una postal a los experimentadores con su número de teléfono. Sus nombres entraban entonces en el sorteo de treinta ejemplares gratuitos de uno de mis libros. Posteriormente, los sujetos debían enfrentarse a una posible verificación telefónica para ver si conocían las palabras y, de los mil lectores aproximados que enviaron la postal, se llamó a una muestra azarosa de cincuenta personas, con resultados satisfactorios.

Entre los lectores que no conocían el experimento, se incluían también sesenta estudiantes de la Universidad de Dresde, una ciudad en la que la revista no se distribuía. Estos estudiantes pasaron una prueba con los mismos diez anagramas y con otros diez adicionales que no se habían visto incentivados por los lectores de *Übermorgen*. ¿Resolverían los estudiantes los anagramas incentivados mejor que los de control? Hablando en términos generales, los resultados determinaron que sí, aunque el efecto, no obstante, no resultaba estadísticamente significativo.⁴²

El segundo experimento dirigido, en este mismo sentido, por Ertel tuvo lugar a través de la revista *PM*, una publica-

ción de entretenimiento que empleaba palabras alemanas artificiales en frases o proverbios conocidos. El significado de las palabras artificiales debía ser adivinado teniendo en cuenta el contexto como, por ejemplo, *Die blampe Leier, Das ist doch ein blamper Hut*, en donde *blampe* reemplazaba a *alt*. Diez palabras nuevas tuvieron que ser aprendidas de este modo, lo que daba un total de cien frases. El recuento de nuevos significados (por ejemplo, el significado de *alt = blampe* aparecía ocho veces) desembocaba en un número de teléfono de diez dígitos al que los lectores debían llamar y, si el número era correcto, recibían una confirmación desde un contestador automático. Los lectores que enviaban una postal con el número correcto también participaban en el sorteo de cincuenta ejemplares de mi libro. Fueron 1.017, en total, los lectores de la revista *PM* que acabaron participando en este concurso.

Una vez más, la influencia de este incentivo se vio corroborada en Dresden, en donde los participantes tuvieron que apretar un botón que decía “artificial” o “real” lo más rápidamente posible después de que, en la pantalla de un ordenador, apareciese una palabra. Las palabras artificiales anteriormente incentivadas estaban mezcladas con otras veinte artificiales que no lo habían sido. Los estudiantes de Dresden pasaron por una prueba antes y después del incentivado de *PM* que no evidenció ninguna diferencia entre las palabras incentivadas y las palabras de control.

Uno de los problemas de esta prueba residía en el hecho de que la condición en la que los participantes veían las palabras difería mucho del contexto en el que las aprendían los lectores de *PM*. En este caso, los lectores estaban en su casa o en otro entorno informal, mientras que, en aquél, se hallaban frente a una pantalla de ordenador en un laboratorio participando en un experimento destinado a determinar su velo-

cidad de respuesta. No sería, por tanto, de extrañar que esas discrepancias debilitasen cualquier posible efecto de la resonancia.

Los resultados de estas nuevas pruebas a pequeña escala no han sido, pues, coherentes ni repetibles. Pero quizás no eran lo suficientemente sensibles y la resonancia de unos pocos centenares o miles de "incentivadores" fuese demasiado débil como para ser detectada.

El efecto de la resonancia mórfica puede ser estudiado, a una escala mucho mayor, investigando los cambios en el desempeño humano a lo largo del tiempo. ¿Tiende a mejorar con el paso del tiempo el desempeño de nuevas habilidades? ¿Resultan los videojuegos cada vez más sencillos? ¿Son más fáciles, con el tiempo, deportes nuevos como el *skateboard* o del *windsurf*? Eso es, al menos, lo que parecen sugerir las pruebas anecdóticas de las que, al respecto, disponemos. Pero lo cierto es que, por el momento, tales cambios no se hallan cuantitativamente documentados y la situación se ve complicada por factores ajenos, como las mejoras en el equipamiento, la moda, métodos de aprendizaje más adecuados, etc.

Una de las pocas áreas en las que disponemos de abundancia de datos son las puntuaciones obtenidas en los test de determinación del CI (cociente de inteligencia). En 1980 me di cuenta de que, de ser cierta la hipótesis de la resonancia mórfica, el desempeño promedio en los test de determinación del CI debería estar aumentando, aunque ello no supusiera tanto una evidencia de que las personas fuesen cada vez más inteligentes, como un mero efecto de la resonancia mórfica de los millones de personas que ya se habían visto sometidas a ellos. Yo confiaba en que los datos corroborarían esta predicción, pero no pude encontrar la información necesaria para corroborarla. En 1982 me enteré de que la puntuación

promedio de los test para determinar el CI había estado aumentando, en Japón, desde la Segunda Guerra Mundial, un 3% cada década.⁴³ Poco después se descubrió (para alivio de muchos estadounidenses) que el CI también había estado aumentando en su país a un ritmo similar.

Éste fue un efecto detectado, en Estados Unidos, por vez primera por James Flynn en su estudio sobre los test de inteligencia de las autoridades militares estadounidenses. Flynn descubrió que los reclutas que, comparados con sus contemporáneos, obtenían una puntuación promedio, se hallaban, comparados con los reclutas que una generación antes habían pasado por las mismas pruebas, por encima de la media (figura A.9). Éste era un rasgo que había pasado inadvertido porque los sujetos se veían rutinariamente comparados con las puntuaciones promedio obtenidas por otros de la misma edad que eran examinados al mismo tiempo. Tengamos en cuenta que la puntuación promedio del CI es, por definición, en cualquier lugar concreto, de 100.⁴⁴

Hoy en día se sabe que, en otros veinte países, entre los que cabe destacar Australia, Inglaterra, Francia, Alemania y Holanda, ha habido un aumento similar.⁴⁵ Y, por más intentos que se han llevado a cabo para tratar de explicar el “efecto Flynn”, como ha terminado conociéndosele, ninguno de ellos ha resultado exitoso.⁴⁶ Muy poco de este efecto, por ejemplo, podría adscribirse a la práctica porque, en este sentido, los test en cuestión han sido, en los últimos años, cada vez menos comunes. Las mejoras en la educación no pueden explicarlo ni tampoco, como algunos han sugerido, puede hacerlo la exposición a la televisión. Las puntuaciones del CI empezaron a subir décadas antes del advenimiento de la televisión, que tuvo lugar en los años cincuenta, porque, como Flynn ha señalado irónicamente, la televisión «no ha sido calificada en vano como “la caja tonta”». ⁴⁷ Cuanto más se ha in-

Efecto Flynn (Estados Unidos, 1918-1989)

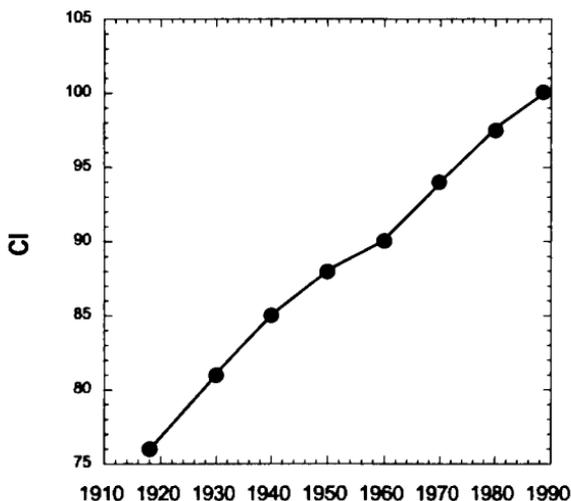


FIGURA A.9. Cambios en la puntuación promedio de los test de determinación del CI en Estados Unidos entre 1918 y 1989, valores relativos a 1989 (Horgan, 1995).

vestigado al respecto, más misterioso resulta el efecto Flynn, hasta el punto de que el mismo Flynn ha llegado a calificarlo como “desconcertante”.⁴⁸

Pero lo cierto es que la hipótesis de la resonancia mórfica podría proporcionarnos, en este sentido, una explicación natural. Si el efecto Flynn fuese realmente explicable en términos de resonancia mórfica, los resultados mostrarían que se trata de un efecto relativamente pequeño. Si millones de personas expuestas a pruebas de determinación del CI sólo conducen a un aumento de la puntuación de unos pocos puntos promedio, los experimentos llevados a cabo para determinar

los efectos de la resonancia mórfica que implican a unos pocos centenares o miles de personas pueden ser demasiado pequeños como para ser detectados sobre el trasfondo del “ruido azaroso” debido a la variabilidad en el desempeño interpersonal.

La resonancia mórfica también podría estar relacionada con la llamada “inflación de grado”, el fenómeno de aumento, con el paso del tiempo, del grado académico. Una evaluación de las prácticas de gradación utilizadas en los colegios y universidades de Estados Unidos muestra que, desde la década de los sesenta, los grados han aumentado, en Estados Unidos, a un ritmo de 0,15 por década en una escala de 4. La tasa de alumnos que logran el grado A en los exámenes escolares y universitarios también ha estado aumentando, en el caso de Inglaterra, de un modo estable. Este fenómeno ha provocado un intenso debate que ha despertado opiniones muy polarizadas. Así, mientras hay quienes se lamentan afirmando que los criterios empleados son cada vez más laxos, otros sostienen sencillamente que el rendimiento de los alumnos es cada vez mejor. Pero la resonancia mórfica proporcionaría de nuevo, en este sentido, una explicación muy sencilla: los criterios de los exámenes son más sencillos cuantas más personas los han llevado a cabo.

Cuando, a los dieciséis años, mi hijo mayor Merlin Shel-drake estaba a punto de pasar el examen inglés GCSE (es decir, el General Certificate of Secondary Education), diseñó, con sus amigos, un ingenioso plan para mejorar su desempeño sin necesidad de realizar, para ello, ningún esfuerzo adicional. La cuestión consistía en empezar respondiendo, en los exámenes finales, a la última pregunta y volver luego al comienzo y seguir la secuencia normal. De ese modo, se hallarían diez minutos por detrás de quienes, en ese mismo instante, estuvieran respondiendo en Inglaterra al mismo examen

y se aprovecharían, en ese sentido, del incentivo provocado por la resonancia mórfica. Finalmente pusieron esta idea en práctica, pues se beneficiarían de ella si funcionaba y, en caso contrario, no perderían nada.

Esta idea esboza la posibilidad de llevar a cabo experimentos al respecto dentro del marco de referencia proporcionado por exámenes de este tipo a gran escala. El orden de las preguntas a las que debería enfrentarse una muestra aleatoria de alumnos podría, por ejemplo, cambiarse. ¿Obtendrían, en tal caso, puntuaciones significativamente más elevadas quienes respondiesen más tarde a una determinada pregunta?

También es posible realizar pruebas sobre la resonancia mórfica a gran escala utilizando entretenimientos nuevos, como los sudokus o los juegos de ordenador. Habría que contar, en tal caso, con la cooperación del mundo empresarial. Como en los experimentos que hemos mencionado de la imagen oculta y el crucigrama, podríamos necesitar un puzzle o un juego de control que no se comercializase hasta haber pasado el período de prueba. Luego se necesitarían grupos de participantes que pasasen la prueba en lugares en los que no tuvieron acceso a los puzzles o juegos recién publicados, que se llevarían a cabo antes y después de su comercialización en cualquier otro lugar.

A.10. ORDENADORES RESONANTES

La hipótesis de la causación formativa se aplica a sistemas autoorganizados, como los cristales, las células y las sociedades de animales. Los campos mórficos operan imponiendo pautas sobre eventos indeterminados. De ahí que la resonancia mórfica no se aplique a las máquinas, que no son sistemas autoorganizados, sino que están compuestos por elementos

que se han visto ensamblados en una fábrica ateniéndose a un diseño humano. Su funcionamiento, en consecuencia, está estrictamente determinado y están destinados a ser predecibles y repetir una y otra vez las mismas cosas. Y, aun en el caso en que los ordenadores incorporen en su programación la “aleatoriedad”, tal variable no está generada por una fuente auténtica de “ruido” azaroso, sino por un algoritmo pseudoazaroso.

El neurocientífico Francisco Varela puso a prueba, utilizando un ordenador de los años ochenta, la resonancia mórfica. Y, para ello, lo programó para que ejecutase cien millones de veces la misma secuencia de operaciones, sin que se advirtiese la presencia, al respecto, de ningún efecto acelerador. Varela publicó los resultados de ese experimento en el *Skeptical Inquirer*, afirmando que, en su opinión, falsaba la hipótesis de la causación formativa.⁴⁹ También señaló que los cambios provocados por el funcionamiento del ordenador en los chips de silicona eran equivalentes a repetidas cristalizaciones, que debían presentarse más rápidamente, en consecuencia, de ser cierta la hipótesis de la resonancia mórfica.

Yo respondí a ese argumento replicando que hay una diferencia de tipo entre la formación espontánea de un cristal y los cambios a que se ven expuestos los chips de silicona de un ordenador. Pero, lo más importante de todo, es que el experimento se hallaba técnicamente mal concebido. El funcionamiento de los ordenadores se basa en una secuencia rápida de operaciones pautadas por su reloj interno que, en el caso del ordenador de Varela, era de un microsegundo. Pero, aun en el caso de que los chips de silicona respondan a las instrucciones pautadas más rápidamente, como resultado de la resonancia mórfica, la secuencia de operaciones se hallaba limitada por el reloj y no podía verse acelerada.⁵⁰ Fueron muchos

los lectores del *Skeptical Inquirer* que señalaron de forma independiente este fatal error en el diseño del experimento.⁵¹

Una mañana de la primavera de 1990 me vi súbitamente desbordado por llamadas telefónicas de periodistas y de los departamentos de informática de varias universidades. La causa de su excitación residía en un artículo aparecido en la revista británica *Computer Shopper* en el que se describían algunos resultados muy interesantes de los que yo no sabía absolutamente nada. El informe en cuestión afirmaba que la doctora italiana Lora Pfilo acababa de llevar a cabo un experimento con algoritmos genéticos, tratando de encontrar la solución más adecuada a un problema de ingeniería comparando las soluciones previstas con las de “generaciones” sucesivas. La simulación se llevó a cabo en un ordenador de la Universidad de Bolonia que trabaja en paralelo con 256.000 procesadores. El artículo en cuestión señalaba que la doctora Pfilo había advertido que la primera vez que ejecutó el programa se llevó a cabo en cuarenta minutos, pero que, en la segunda ocasión, sólo requirió veintitrés.

Pfilo consideró que la súbita y preocupante reducción del tiempo de procesamiento quizás se debiera a una subida de tensión. Así fue como ejecutó nuevamente el programa y descubrió, cuando comparó el resultado con el de la segunda prueba, una reducción del tiempo de procesamiento de trece minutos. Y cuando finalmente volvió a repetir el mismo programa, descubrió que el tiempo disminuía a un minuto y doce segundos. Se trataba de un resultado ciertamente sorprendente. ¿A qué causa externa se debía la disminución del tiempo de procesamiento? En el mes de enero, conectó con un colega, el profesor Kvitlen Duren, profesor de matemáticas del Instituto Svit Chotiri de Kiev, que, por aquel entonces, estaba de paso por la Universidad de Milán.

El artículo proseguía con una entrevista con el profesor

Duren, que, a la sazón, se hallaba en Londres para visitar la Royal Society. Él también afirmaba haber advertido una reducción en el tiempo de procesamiento de uno de sus ordenadores..., pero no de otro que estaba llevando a cabo el mismo algoritmo genético. Según decía, el ordenador más rápido contaba con algunos circuitos adicionales, como un dispositivo de *hardware* de números aleatorios basado en un diodo Zener invertido generador de aleatoriedad cuántica. El otro ordenador, no obstante, trabajaba con un algoritmo estándar generador de números pseudoaleatorios. Según el profesor Duren:

«Esto nos resultó inicialmente muy difícil de aceptar, pero lo que debe haber sucedido es que la información del desempeño anterior estaba, de algún modo, “almacenándose”. En ese momento fue cuando mi buena amiga, la doctora Lora Pfilo, conectó conmigo y, mientras estábamos hablando, descubrimos que habíamos estado observando el mismo efecto, al que yo llamaba aceleración causal y ella resonancia mórfica... Lo que sucedía en la máquina era una indeterminación cuántica en la programación de los procesos múltiples, suficiente para producir los efectos observados por Lora».

Entonces llamé a *Computer Shopper* y pedí que me pusieran en contacto con el autor del artículo. Al poco tiempo, me llamó diciendo «Eche un vistazo, antes de seguir adelante, a la fecha del artículo de *Computer Shopper*». Y, cuando lo hice, me di cuenta de que se trataba del día 1 de abril [semejante a nuestro día de los Inocentes].

El autor, Adrian Owen y su colega John Kozak me invitaron a reunirme con ellos poco después en un *pub* local. Apenas los vi, me di cuenta de que el profesor Duren que aparecía en el artículo era John Kozak con una falsa barba. Luego

me contaron que Lora Pfilo era un anagrama de «*april fool*». Su interés en la resonancia mórfica, según me dijeron, les había llevado a pensar en una posible aplicación a los ordenadores. También habían pensado en la elaboración de un falso artículo que, sin ser reconocido de inmediato como una broma, resultase lo suficientemente plausible como para estimular el interés general. Pero la cuestión es que su éxito superó con creces sus más descabelladas expectativas.

El experto programador de ordenadores Steven Rooke de Tucson (Arizona) exploró, en 1993, la posibilidad de llevar a la práctica la propuesta esbozada en el informe de *Computer Shopper*. Para ello, utilizó un sistema de gráficos de ordenador, un diodo Zener invertido como fuente de ruido cuántico y un algoritmo genético que convergían en una imagen diana. El objetivo de su experimento apuntaba a determinar si la secuencia de ejecuciones azarosas aumentaría la tasa de convergencia sobre la diana. Rooke se vio obligado a superar una serie de problemas técnicos y los resultados de sus pruebas de resonancia mórfica demostraron ser inconcluyentes. Pero sus programas, no obstante, generaban imágenes gráficas tan hermosas que acabó comercializándolas.

Recapitando, en octubre de 2007, sobre su experiencia, Rooke cuestionaba si el generador de eventos cuánticos y el programa de ordenador se hallarían lo suficientemente acoplados como para constituir un campo mórfico:

«Aun en el caso de que el proceso de convergencia de un programa genético resonase con procesos que ocurrieron fugazmente en momentos anteriores, parece necesaria la existencia de un acoplamiento mucho más estrecho entre la fuente de aleatoriedad (el generador de eventos cuánticos) y la novedad que esté produciéndose. Son muchas las dificultades que acompañan al diseño de ese tipo de experimentos,

ya que, por ejemplo, es necesario rastrear todas las soluciones anteriores para saber si una determinada solución es realmente nueva. También hay que subrayar que todos los intentos preparatorios llevados a cabo al respecto han sido realizados con números pseudoaleatorios». ⁵²

Las diferentes partes del sistema se hallan, en los campos mórficos, relacionadas y los campos funcionan influyendo sobre los procesos aleatorios. El problema señalado por Rooke afirmaba que, aunque el ordenador se viese alimentado por números aleatorios, el generador de números aleatorios no estaba vinculado al sistema por ningún otro camino. Para aumentar la intensidad de ese acoplamiento, el generador de números azarosos debería verse, de algún modo, afectado por el mismo proceso al que estaba afectando. Y un modo de hacerlo, sugerido por Ralph Abraham, era el de emplear un *feedback* óptico, que consistiría en apuntar una cámara de vídeo a una pantalla que desplegara el *output* de la cámara a baja definición, abriendo así espacio para la emergencia de ruido aleatorio.

Y aquí es donde entra en escena una posibilidad completamente nueva. Nosotros estamos familiarizados con la idea de que todos los computadores son digitales, pero, en los primeros días de la informática, en la década de 1950, los computadores analógicos eran unos serios competidores. Esos ordenadores permitían el desarrollo de pautas complejas y autoorganizadas de actividad que se desarrollasen a través de circuitos oscilantes y a veces caóticos de los dispositivos electrónicos. William Ross Ashby, un pionero británico del campo de la cibernética, publicó en 1952 un libro muy influyente titulado *Design for a Brain* en el que mostraba el modo en que circuitos cibernéticos analógicos podían reproducir la actividad cerebral, incluyendo los saltos de un estado o de un

nivel a otro. Fue entonces cuando los ordenadores digitales se hicieron con el poder y acabaron relegando al olvido a los analógicos.

Un renovado interés por el enfoque analógico ha conducido recientemente a resultados sorprendentes en la creación de "máquinas vivientes" en forma de robots analógicos semejantes a insectos. Estas máquinas logran hazañas de autoorganización e incluso de aprendizaje y memoria cuya complejidad oculta el hecho de que esas máquinas no poseen ordenadores y están compuestas por menos de diez transistores. Mark Tilden, el inventor de estas máquinas, construye sistemas electrónicos que se sirven de los *inputs* proporcionados por sensores en la medida en que el robot se mueve. La actividad de los circuitos ondulatorios y rítmicos es parcialmente caótica e impredecible y depende de lo que haya ocurrido antes. Como dijo Tilden: «El ordenador digital responde con exactitud del mismo modo a una reproducción de determinadas condiciones [...], ¡pero los dispositivos analógicos pueden responder, en tal caso, del mismo modo o de un modo diferente! Por ello, precisamente, aunque uno pueda influirles, quizás no tenga sobre ellos el menor poder».⁵³ El trabajo de Tilden ha inspirado un nuevo tipo de construcción de máquinas "basadas en la reacción" a la que ha denominado robótica BEAM (Biology Electronics Analogy Morphology).

¿Pueden los dispositivos electrónicos verse afectados por campos mórficos? Quién sabe..., pero un buen punto de partida para investigar esta cuestión podrían ser robots analógicos autoorganizados que incluyan elementos realmente aleatorios

Si los campos mórficos llegasen realmente a afectar a tales sistemas analógicos probabilísticos, dispondrían automáticamente de una memoria inherente sin necesidad de disponer, para ello, de dispositivos de almacenamiento de memoria

especiales, como discos duros o chips de memoria. También entrarían en resonancia mórfica con ordenadores similares de todo el mundo sin necesidad de comunicarse a través de cables o señales de radio. Y también compartirían una memoria colectiva. Quizás entonces asistiéramos al nacimiento de una tecnología completamente nueva.

APÉNDICE B

LOS CAMPOS MÓRFICOS Y EL ORDEN IMPLICADO

UN DIÁLOGO CON DAVID BOHM

David Bohm fue un eminente físico cuántico que, en su juventud, trabajó estrechamente con Albert Einstein en la Universidad de Princeton. Con Yakir Aharonov descubrió el efecto Aharonov-Bohm. Posteriormente fue profesor de física teórica del Birkbeck College de la Universidad de Londres y autor de varios libros, entre los que cabe destacar Causality and Chance in Modern Physics¹ y La totalidad y el orden implicado.² Murió en 1992. El diálogo reproducido aquí se vio publicado por vez primera en ReVision Journal y las notas incluidas son de Renée Weber editora por aquel entonces de la revista.³

BOHM: Supongamos ahora que estudiamos el desarrollo del embrión, es decir, de aquellos problemas en los que usted considera que el método mecanicista no funciona. ¿Qué nos aportaría, en este sentido, la teoría de los campos morfogenéticos?

SHELDRAKE: El organismo en proceso de desarrollo se hallaría dentro del campo morfogenético, un campo que guía-

ría y controlaría la *forma* del desarrollo del organismo y cuyas propiedades no se limitan al espacio, sino que abarcan también el tiempo. Esto fue algo que Waddington demostró con su concepto de creoda [véase figura 5], representado por modelos de valles con bolas que avanzan en dirección a un punto final. Aunque se trata de un modelo de apariencia mecanicista, no tardas en darte cuenta de que el punto final hacia el que la bola se dirige descendiendo por el valle se encuentra en el *futuro*, y es como si atrajese a la bola. Parte de la fuerza de este modelo depende del hecho de que, si desplazas la bola hacia un lado u otro del valle, regresa rodando y se orienta hasta llegar al mismo punto final. Este modelo representa perfectamente la capacidad de los organismos vivos de alcanzar, por más que se interrumpa su desarrollo normal, el mismo objetivo. Y, si se corta una pequeña parte de un embrión, crece de nuevo, llegándose al mismo punto final.

BOHM: La ley de Lagrange se refiere, dentro del ámbito de la física, a algo muy parecido. Las funciones lagrangianas convergen, como sucede con la creoda, en torno a un determinado nivel mínimo. Y, aunque no se trate de una analogía exacta, podríamos decir que la órbita atómica clásica se origina, en cierto sentido, siguiendo algún tipo de creoda. Ése es un modo en el que podríamos contemplar la física clásica. Y también podría hablarse, basándose en la noción de creoda, de alguna noción de estabilidad física. Desde el punto de vista del orden implicado, sin embargo, creo que debería decir que este campo formativo es un conjunto de potencialidades y que, en cada momento, se produce una selección del potencial que dependerá, hasta cierto punto, de la historia anterior y, a partir de ahí, de la creatividad.

SHELDRAKE: Pero ese conjunto de potencialidades es un conjunto limitado, porque las cosas tienden hacia un determi-

nado punto final. Y, con ello, quiero decir que los embriones crecen hasta convertirse en gatos, no en perros. Es cierto que puede existir alguna variación en el curso que pueden seguir, pero no lo es menos que existe un objetivo o punto final global hacia la que se dirigen.

BOHM: Pero el gato real se hallará determinado por todo tipo de contingencias.

SHELDRAKE: Exactamente. Contingencias de todo tipo, influencias ambientales y posiblemente también fluctuaciones azarosas. Pero lo cierto es que el punto final de la creoda definirá el área general hacia la que se dirige.

Lo más importante, no obstante, del concepto de creoda de Waddington, que muchos biólogos toman muy en serio, es que ya incluye esta idea de punto final, en algún momento futuro. Y la estructura, las paredes de la creoda, por así decirlo, no son algo físico, en el sentido material del término. Lamentablemente, Waddington no definió de qué se trataba con exactitud. En mi opinión, representa el proceso de causación formativa a través del campo morfogenético. En realidad, Waddington llega incluso a utilizar la expresión "campo morfogenético". El problema del concepto de Waddington es que, cuando se vio atacado por los mecanicistas, que sostenían que se trataba de una idea mística o mal definida, se echó hacia atrás, afirmando que sólo se trataba de una forma de referirse a las interacciones físicas y químicas. René Thom, que tomó prestados los conceptos de creoda y campo morfogenético y los desarrolló en modelos topológicos (a cuyos puntos finales llamaba "atractores morfogenéticos"), trató de forzar a Waddington a que definiera mejor lo que era la creoda. Pero parece que Waddington, cuando se sentía forzado, se echaba hacia atrás, por más que se tratase de alguien como René Thom. De modo que la cosa quedó en una situación bastante ambigua.

Brian Goodwin y otros consideran las creodas y los campos morfogenéticos como aspectos de las formas platónicas eternas..., y ésta es una metafísica más bien platónica. Consideran estos campos formativos como arquetipos eternos, inmutables y, de algún modo, necesarios. Se trata de algo casi neopitagórico. La armonía, el equilibrio, la forma y el orden pueden generarse a partir de principios matemáticos fundamentales, de algún modo necesarios, que desempeñan el papel de factor causal en la naturaleza de un modo inexplicable, aunque invariable.

La diferencia entre esto y lo que yo digo es que creo que el origen de los campos morfogenéticos depende de que ha ocurrido antes. Se produce, por utilizar su lenguaje, una suerte de introyección de formas explícitas y luego una nueva proyección.

BOHM: Sí. Todo lo que usted dice —es decir, la relación entre las formas *pasadas* y las *presentes*— tiene que ver con la cuestión global de tiempo. “¿Cómo entender el tiempo?” En términos de totalidad más allá del tiempo, la totalidad en la que todo está implicado, lo que se desarrolla o se despliega en el presente no es más que una proyección de la totalidad. Es decir, algún aspecto de la totalidad se despliega en ese momento y ese momento es exactamente ese aspecto. Y el siguiente momento, del mismo modo, no es más que otro aspecto de la totalidad. Y, lo más interesante de todo, es que cada momento se parece a sus predecesores, pero también se diferencia en ellos. Para explicar este punto, utilizo los términos técnicos de “inyección” y “proyección”. Cada momento, como ya he dicho, es una proyección de la totalidad. Pero ese momento acaba inyectándose o introyectándose de nuevo en la totalidad. El siguiente momento implicaría, en parte, una reproyección de esa inyección, y así indefinidamente. [Nota de la edi-

tora: tomemos, a modo de analogía simplificadora de este punto, el océano y las olas. Cada ola se conforma o "proyecta" a partir de la totalidad del océano. Luego la ola regresa de nuevo al océano, es decir, vuelve a "inyectarse" en la totalidad, de la que emerge la siguiente ola. Cada ola se ve afectada por las olas anteriores, porque todas aparecen y desaparecen o, lo que es lo mismo, se proyectan e inyectan por todo el océano. Y por más que ello implique algún tipo de "causalidad", no se trata de que la ola A cause linealmente la ola B, sino de que la ola A ejerce una influencia sobre la ola B por el hecho de verse nuevamente absorbida en la totalidad del océano, que da lugar a la ola B. Dicho en términos de Bohm, la ola B es, en parte, una "reproyección" de la "inyección" de la ola A, y así sucesivamente. Cada ola se asemeja, por tanto, a las anteriores, pero también difiere, en ciertos aspectos, como el tamaño, la forma, etc., de ellas. Bohm sugiere la existencia de algún tipo de "causalidad", una causalidad mediada a través de la totalidad del océano implicado y no tan sólo a través de olas explicadas, separadas y aisladas. Digamos, para concluir, que esto significa que dicha "causalidad" sea no local, porque lo que sucede en una parte del océano afecta a todas las demás.] Cada momento contendrá, pues, una proyección de la reinyección de los momentos anteriores, lo que, en cierto modo, constituye una forma de memoria que provoca una repetición general de formas anteriores, lo que se asemeja mucho a lo que usted postula. [Nota de la editora: esto coincide con las reformulaciones que Bohm hace de la mecánica cuántica actual. En la siguiente discusión, Bohm indicará que la mecánica cuántica actual, como suele interpretarse, fracasa completamente al explicar la repetición de formas anteriores o la noción de proceso

temporal, un fracaso que llevó, en parte, a Bohm a proponer la "inyección" y "proyección" a través del orden implicado.]

SHELDRAKE: Esta reinyección en la totalidad desde el pasado supondría, por tanto, la existencia de una relación causal entre lo que sucede en un momento y lo que sucede después. ¿No es cierto?

BOHM: Sí, ésa es la relación causal. Cuando un determinado contenido se abstrae del orden implicado en el pasado, parece presentar por lo menos una *tendencia*, no necesariamente una relación causal *exacta*, a ir seguido, en el futuro, de un contenido relacionado.

SHELDRAKE: Sí. Si algo sucede en un lugar y en un momento dados, lo que allí ocurre se reinyecta en la totalidad.

BOHM: Pero ha experimentado un cierto cambio. No se reinyecta exactamente, porque antes ha experimentado una proyección.

SHELDRAKE: Sí, cambia en cierto modo, pero vuelve a integrarse en la totalidad. Puede ejercer una influencia que, al verse mediada por la totalidad, puede observarse en cualquier otro lugar. No tiene por qué ser local.

BOHM: Exacto, podría observarse en cualquier sitio.

SHELDRAKE: Esto se asemeja mucho al concepto de resonancia mórfica, según el cual las cosas que ocurren en el pasado, *a pesar de que estén separadas entre sí por el espacio y el tiempo*, pueden ejercer una influencia sobre cosas similares actuales por, mediante o a través (sea cual sea la forma de expresarlo) del tiempo y del espacio. Se trata de una conexión no local. Creo que esto es muy importante, porque significaría que estos campos mantienen una relación causal (aunque no local) con cosas que han ocurrido antes. No constituyen manifestaciones inexplicables de un conjunto de arquetipos eternos y atemporales. Los

campos morfogenéticos, que dan lugar a repeticiones de formas y pautas habituales, se derivarían de campos anteriores (lo que usted denomina "memoria cósmica"). Cuanto más a menudo se produce una forma o un campo, más probable es que vuelva a producirse, que es lo que trato de expresar con la idea de la resonancia mórfica y del promediado automático de formas anteriores. Es precisamente este aspecto el que hace que esta teoría resulte empíricamente demostrable, porque permite realizar predicciones como las siguientes: si unas ratas aprenden algo en un determinado lugar, las ratas de otros lugares aprenden con más rapidez el mismo truco. Esto distingue mi teoría de la teoría de arquetipos eternos de Goodwin, que no permite realizar semejantes predicciones, porque dichos arquetipos siempre son iguales. Y es también en este punto donde mi propuesta difiere del pensamiento tradicional adoptado desde hace sesenta años en el campo de la biología, la idea de los campos morfogenéticos. Estos campos siempre han estado muy mal definidos y se han entendido, como hizo Waddington, por ejemplo, como una simple forma de hablar de las fuerzas mecanicistas convencionales o en un sentido metafísico semejante al contemplado por Goodwin.

BOHM: Sí. Utilicemos, para ello, la analogía del receptor de ondas de radio al que se refiere usted en su libro. Un receptor tiene la capacidad de amplificar señales de ondas de radio muy débiles. Como usted dice, podemos considerar el aparato de radio como un campo morfogenético. Y la energía del receptor (que procede del enchufe) se ve conformada por la información de la misma onda de radio, de modo que el altavoz acaba emitiendo un sonido. En este caso, podemos afirmar que, comparada con la energía procedente del enchufe de la pared, la energía de

la onda de radio es muy débil. Son dos pues, hablando en términos generales, los niveles de energía existentes, uno de ellos es de un tipo de energía sin forma, aunque, a través de impulsos muy pequeños, puede adoptar una forma. El otro tipo de energía es un campo mucho más sutil y que, pese a poseer muy poca energía, hablando en el sentido habitual del término, tiene una cualidad formal que puede verse asumida por la energía del receptor de radio. La cuestión es que podríamos referirnos al orden implicado diciendo que los niveles más sutiles están afectando a la energía de los niveles no tan sutiles. Las energías implicadas son tan sutiles que habitualmente ni siquiera se consideran tales y esas energías implicadas están dando lugar a la producción de electrones y protones y a las distintas partículas de las que habla la física. Y esas partículas llevan tanto tiempo replicándose que están muy bien asentadas o consolidadas en la "memoria cósmica".

SHELDRAKE: Exacto, creo que podríamos ver las cosas de ese modo. Pero realmente no sabría decir si esos campos morfogenéticos poseen o no energía. Cuando escribí mi libro, traté de diferenciar claramente la línea que separa la causación formativa de la causalidad ordinaria (causalidad energética), es decir, el tipo de causalidad con la que la gente está más familiarizada (como, por ejemplo, la gravedad y la electricidad). Y ello por dos razones: en primer lugar, quería dejar claro que la causación formativa es distinta de lo que solemos pensar cuando hablamos de causalidad (que quizás no fuese tan distinto considerando a la causalidad a través de campos, como sucede en el campo de la física). Pero la segunda razón era que buena parte de mi teoría se basa en el hecho de que estos campos mórficos pueden propagarse a través del espacio y el tiempo y que, en consecuencia, los sucesos pasados pue-

den influir en eventos que tengan lugar en cualquier otro lugar. Pero si concebimos esos campos de modo energético, en el sentido habitual del término, la mayoría de gente asume que sólo pueden propagarse localmente en función de alguna ley del inverso del cuadrado, porque la mayoría de las energías conocidas, como la luz, la gravedad, el magnetismo, etc., van desvaneciéndose de forma progresiva en la medida en que aumenta la distancia.

BOHM: Pero las cosas no necesariamente tienen que ser así. Una de las primeras versiones de la teoría cuántica que desarrollé se refería a una partícula que se movía en un campo.

SHELDRAKE: El potencial cuántico.

BOHM: Sí. El potencial cuántico posee muchas de las propiedades que usted atribuye a los campos morfogenéticos y a las creodas; es decir, guía, de algún modo, a la partícula y existen valles profundos y mesetas y las partículas pueden acumularse en los altiplanos y dar lugar a franjas de interferencia. Pero lo más interesante es que la energía potencial cuántica tiene el mismo efecto *independientemente* de su intensidad, de modo que, por más lejos que se encuentre, puede llegar a producir un efecto extraordinario que no se atiene, en consecuencia, a la ley de la inversa del cuadrado. Lo único que tiene un efecto es la forma del potencial y no su amplitud ni su magnitud. Bien podría, en este sentido, compararse a un barco guiado por radar, en donde el radar proporciona formas o información sobre lo que rodea al barco. No depende, dentro de sus límites, de la intensidad de la onda de radio. También podríamos decir que el potencial cuántico actúa, en este sentido, como un campo formativo sobre el movimiento de los electrones. El campo formativo no podría expresarse en el espacio tridimensional [*o local*], debería expresarse en un espacio

tri-n-dimensional, de modo que se establecerían conexiones no locales o sutiles entre partículas distantes (como pone de relieve el experimento Einstein-Podolsky-Rosen). Así que habría una totalidad dentro del sistema tal que el campo formativo no podría atribuirse exclusivamente a una partícula, sino a la totalidad y en donde cualquier cosa que experimenten partículas distantes podría afectar al campo formativo de otras partículas. Habría, pues, una transformación [*no local*] del campo formativo de cierto grupo a otro grupo. Por ello creo que, si usted está intentando comprender lo que significa la mecánica cuántica, ese modelo constituye una buena analogía de un campo formativo.

SHELDRAKE: Podría llegar incluso a ser una homología, es decir, un modo diferente de hablar de la misma cosa.

BOHM: La principal diferencia es que la mecánica cuántica no tiene en cuenta el tiempo y carece, por tanto, de modo de explicar el efecto acumulativo de las formas pasadas. Para ello se requeriría de una extensión de la forma en que la física trata al tiempo.

SHELDRAKE: Pero ¿no entra acaso el tiempo en juego cuando, en física, se habla del colapso de la función de onda?

BOHM: Sí, pero ese aspecto queda fuera del campo de la física cuántica actual. No existe ninguna ley que tenga en cuenta este colapso, lo que significa que el pasado, por así decirlo, se ha desvanecido. [*Nota de la editora: éste es el momento en el que, como hemos indicado anteriormente, Bohm trata algunas de las insuficiencias de la mecánica cuántica actual, en particular, su incapacidad para explicar procesos o, lo que es lo mismo, la influencia del pasado sobre el presente. Y tales reformulaciones –inyección, proyección, orden implicado, etc.– podrían solucionar dichas insuficiencias. Aparentemente, se trata de re-*

formulaciones muy similares a las teorías de Sheldrake.] La mecánica cuántica actual no tiene ningún concepto de movimiento, proceso o continuidad en el tiempo; sólo trata con un *único* momento, con una observación y con la probabilidad de que una observación vaya seguida de otra. Pero lo cierto es que, en el mundo físico, hay procesos. Y, con ello, tampoco quiero decir que esos procesos puedan entenderse desde la perspectiva del orden implicado y mediante las actividades de la reproyección y la reinyección. La teoría del orden implicado, en lo que a esto se refiere, va más allá que la mecánica cuántica actual. Se refiere a *procesos*, cosa que no hace la mecánica cuántica, salvo por referencia a un aparato observador que, a su vez, debe referirse a alguna otra cosa.

SHELDRAKE: ¿Diría usted que, a ese nivel, un proceso es una reproyección?

BOHM: Sí.

SHELDRAKE: ¿Y, al mismo tiempo, una reinyección?

BOHM: La reinyección se corresponde exactamente con lo que describe la ecuación de Schrödinger. Y la reproyección constituye el siguiente paso, que la mecánica cuántica, por cierto, no da (salvo en lo que respecta a la suposición arbitraria del “colapso” de la función de onda de un modo que no tiene lugar en las leyes físicas, como la ecuación de Schrödinger).

Pero la mecánica cuántica actual tampoco puede abordar otra cuestión. Y es que, por más extraño que pueda parecer, la física actual no tiene el menor contacto con el concepto de *realidad*. La física clásica poseía, al menos, cierta noción de realidad al afirmar que la realidad consiste en una colección de partículas que, de algún modo, están moviéndose e interactuando. Pero la física cuántica no posee ningún concepto de realidad, porque sostiene que

sus ecuaciones no se refieren a nada *real*, sino que tan sólo describen la *probabilidad* de que, si tuviera un determinado instrumento, podría ver un observador y presupone, por tanto, la necesidad de dicho instrumento para que el fenómeno sea real. Pero el instrumento, a su vez, se supone que está compuesto de partículas parecidas y que, al obedecer a las mismas leyes, requiere otro instrumento..., lo que nos aboca a una regresión infinita. Wigner ha propuesto poner fin a esa regresión diciendo que es la conciencia del observador real la que confiere realidad a todo.

SHELDRAKE: Lo que no parece, por cierto, una explicación muy satisfactoria.

BOHM: Tampoco me lo parece a mí, pero Wigner parece haberse quedado muy contento con ella. El hecho es que, a menos que la mecánica cuántica se amplíe, no hay en ella espacio alguno para la realidad ni para ninguna de las cosas de las que usted está hablando. La mecánica cuántica, en su estado actual, es un conjunto truncado, limitado y abstracto de fórmulas que nos proporciona ciertos resultados limitados en lo que se refieren a un único momento de un experimento. Y, partiendo de esta visión limitada, los físicos tratan de explicarlo todo. ¿Qué sentido tiene todo eso? ¡Pero si la física moderna ni siquiera puede hablar del mundo real! Piense en ello...

SHELDRAKE: ¿Cómo cree usted que podríamos llegar a contar con un concepto de la realidad?

BOHM: Yo creo que, en este sentido, podría servirnos el orden implicado. Tenemos una proyección de la totalidad para constituir un momento; un momento es un movimiento. Por ello, podríamos decir que la proyección *es* la realización. Lo que la física, dicho en pocas palabras, no discute es el modo en que se relacionan varios momentos sucesi-

vos y eso es, precisamente, lo que trata de hacer el orden implicado. Si utilizamos el orden implicado para ampliar la mecánica cuántica, introduciremos la cuestión del modo en que los momentos pasados tienen un efecto sobre el presente (es decir, a través de la inyección y la proyección). Hasta el momento, la física dice que el siguiente momento es completamente independiente, pero con cierta probabilidad de ser tal o cual. No hay en él espacio alguno para lo que estamos diciendo sobre el efecto acumulativo que pueda tener el pasado. Pero la ampliación del orden implicado de la mecánica cuántica abriría las puertas a esa posibilidad. Es más, si realmente pudiéramos combinar la ampliación del orden implicado de la mecánica cuántica [*lo que explicaría el efecto acumulativo del pasado*] con este potencial cuántico [*lo que explicaría por qué estos efectos son de naturaleza no local*], creo que tendríamos algo muy parecido a lo que usted propone.

SHELDRAKE: ¡Sí! ¡Eso sería muy interesante! Creo que, de todos los planteamientos que he analizado, éste es el que mejor permite ensamblar todas estas ideas. No se me ocurre mejor camino para establecer estas conexiones.

BOHM: Podríamos introducir el tiempo y decir que cada momento posee un determinado campo de potencialidades (representadas por la ecuación de Schrödinger), así como una realidad más restringida (representada por la misma partícula). Y también podríamos decir que el siguiente momento tiene su potencial y su realidad y que debemos establecer alguna conexión entre la *realidad* de los momentos anteriores y las *potencialidades* de los posteriores, lo que sería una introyección, no de la función de onda del pasado, sino de la realidad del pasado en el campo desde el cual se proyectará el presente. Y eso se correspondería

exactamente con lo que usted está diciendo. Porque entonces podrían acumularse una serie de realidades introyectadas que reducirían cada vez más el potencial de campo y constituirían el fundamento de proyecciones posteriores. De ese modo se explicaría la influencia del pasado sobre el presente.

SHELDRAKE: Exacto, exacto. Pero ¿cómo cree usted que se relaciona esto con las supuestas ondas de materia de la ecuación de De Broglie?

BOHM: Éste es nuestro punto de partida. Estas ondas de materia son la causa formativa, que es lo que, en principio, sugirió De Broglie. Sin embargo, quiso considerar la onda de materia como una onda tridimensional en el tiempo, lo que no acaba de funcionar. El campo formativo posibilita una interpretación mucho más adecuada. El potencial cuántico es el campo formativo que derivamos de la generalización de las ondas de De Broglie. Por ello podemos decir que la partícula es la realidad, afectada por el campo formativo. El conjunto de partículas, la estructura entera de todas las partículas que forman un sistema, es la realidad de ese campo formativo.

Pero, como ese modelo sigue todavía ignorando al tiempo, el siguiente paso consiste en introducir el tiempo, afirmando que se produce una sucesión de momentos temporales en los que existe una realidad *recurrente*. Y lo que se repite se ve afectado por el campo formativo. Pero el campo formativo se ve influido por lo que ha sucedido anteriormente. *Esto contribuiría, si sabemos cómo tratarlo, a resolver la mayoría de los problemas a los que se enfrenta la física...*, amén de estar estrechamente relacionado con lo que usted propone.

Ahora estamos diciendo que la función de onda como potencial se expande muy rápidamente y luego se colapsa

de forma súbita por razones que quedan por completo fuera de la teoría, en un estado real concreto. Y decimos que, para determinarlo, se precisa de un determinado aparato de medida. Luego tiene lugar otro colapso y la única continuidad de este sistema se conseguiría mediante una serie infinita de aparatos de medida que, a su vez, deberían ser observados de continuo para permitirles existir completamente, etc. Así es como todo acaba diluyéndose en un océano de confusiones. Y, como la gente suele tomar las matemáticas como algo sagrado, dice que estas ecuaciones, en su forma general, no deben modificarse nunca y nos recriminan que hablemos de cosas tan extrañas. Casi nadie quiere introducir, en esta trama general, algo fundamentalmente diferente.

SHELDRAKE: De modo que la interpretación de De Broglie explica lo que usted piensa sobre el desarrollo. Es como si hubiese una realización recurrente de algo que está continuamente asociado al campo formativo.

BOHM: Y el tiempo formativo *presente* se ve afectado por las realizaciones *pasadas*. No es posible, en la mecánica cuántica actual, que el campo formativo se vea afectado por nada, incluido el pasado, porque sólo puede hablarse de un instante. No hay nada que pueda influir en el campo formativo, ése es el problema.

SHELDRAKE: Ya lo entiendo. Es un tema muy relacionado. Lo que yo propongo sobre los campos morfogenéticos tiene que ver con formas físicas y pautas habituales de conducta. No está clara la conexión que estas ideas tienen con el proceso del pensamiento, aunque, obviamente, están relacionados. Si, por tanto, empezamos a formular el tema en términos físicos, como hago yo con los campos morfogenéticos, tenemos que hablar de resonancia mórfica, la influencia de las formas pasadas sobre el presente a través

del campo morfogenético mediante algún tipo de resonancia. Si, por el contrario, utilizamos un lenguaje psicológico y empezamos a hablar en términos de pensamiento, dispondremos de una forma más práctica de pensar en la influencia del pasado, porque con los campos mentales se tiene memoria. Y esta memoria puede expandirse si pensamos, como hacen muchos sistemas filosóficos, en la totalidad del universo como si de un pensamiento se tratara. Entonces usted puede decir que, si todo el universo es de la naturaleza del pensamiento, tenemos automáticamente una suerte de memoria cósmica. Son varios los sistemas de pensamiento que adoptan esta perspectiva. La noción de *alayavijnana* (el almacén de la conciencia) de la que habla el budismo Mahayana, por ejemplo, se asemeja mucho a la idea de memoria cósmica. Y creo que los teósofos hacen también algo parecido con la idea de registro akáshico. Según cierta escuela de pensamiento hindú, por otra parte, la totalidad del universo no es más que un sueño de Vishnú. Al soñar, Vishnú crea el universo, que posee el mismo tipo de realidad que el sueño y, como Vishnú es un dios eterno y sueña, por tanto, eternamente, mantiene una cierta coherencia. En el interior del sueño hay memoria, lo que soñamos en el pasado tiende a repetirse y tiene su propia ley y dinámica. Todos esos sistemas de pensamiento incorporan, de un modo u otro, algún tipo de memoria. Así que todo podría expresarse en lenguaje psicológico. Pero eso no ayuda mucho a establecer contacto con la física moderna y con la visión que la ciencia moderna tiene sobre el mundo. Por ello nociones como las de orden implicado parecen ser una forma más adecuada de enfrentarnos a este problema, porque el orden implicado no tiene connotación alguna. Esto es algo que subyace tanto a la realidad física como al pensamiento. En

cierto sentido, trasciende tanto a la dicotomía habitual materialista-idealista, según la cual todo lo real es ideal o todo lo real es material. La idea del orden implicado tiene la gran ventaja de permitirnos trascender esta distinción.

BOHM: De hecho, esta trascendencia constituye su verdadera esencia.

SHELDRAKE: Si asumimos una visión más amplia de la creatividad, nos encontramos ante la idea de todo el proceso evolutivo, que ahora puede verse claramente como un proceso creativo. ¿Cuál cree usted que es la relación existente entre este modelo y la creatividad evolutiva?

BOHM: Podríamos especular diciendo que gran parte de la vida consiste en la repetición continua, con pequeñas variaciones, de determinadas formas, lo que es similar a nuestra experiencia del pensamiento, una continua repetición de pautas con pequeñas variaciones. Pero inevitablemente tenemos entonces que preguntarnos: ¿cómo es que tenemos variaciones? ¿Y cómo podemos ir más allá de esas pautas?

SHELDRAKE: Mediante “saltos” creativos.

BOHM: Así es. Los llamamos “saltos” cuando se proyectan en las categorías fijas del pensamiento. Si afirmamos la existencia de una protointeligencia o de una inteligencia implícita en la materia en la medida en que evoluciona, que, en realidad, no se mueve de un modo causal ni secuencial, sino que se ve continuamente creada y replicada, hay espacio suficiente como para que quepa el acto creativo y para proyectar e introyectar un contenido creativo.

SHELDRAKE: Esta creatividad parece implicar algo que vincula las cosas, una totalidad que unifica las partes y establece relaciones entre ellas. Se unen para formar una nueva totalidad anteriormente inexistente. En esta realización creativa, dos cosas anteriormente separadas acaban fundiéndose hasta configurar una nueva totalidad.

BOHM: Sí. Ahora ya no se contemplan como existencias independientes, sino como meros aspectos de la totalidad. Se ha realizado una nueva totalidad, a partir de la cual puede crearse una realidad externa.

SHELDRAKE: Por ello el proceso creativo, que da lugar a nuevos pensamientos a través de los que se realizan nuevas totalidades, se asemeja en ese sentido a la realidad creativa que a lo largo del proceso evolutivo da lugar a nuevas totalidades. El proceso creativo podría ser entendido como un desarrollo sucesivo de totalidades cada vez más complejas y supraordenadas a partir de la unión de partes anteriormente separadas.

BOHM: Que ahora no se ven realizadas como partes independientes, sino como aspectos de una totalidad mayor poseedora de nuevas cualidades.

SHELDRAKE: Exactamente, y es esa realización de una mayor totalidad lo que realmente crea la totalidad mayor.

BOHM: Sí, podría llegar a proponerlo como cuando, en su imaginación o a través de un foganazo intuitivo, usted realiza mentalmente la totalidad en el interior de su mente y luego la lleva a cabo en el exterior. Bien podríamos decir que, de algún modo, la naturaleza realiza lo que se le presenta con diversas cosas que han de unirse. La naturaleza realiza esta totalidad mayor a un nivel más profundo, de forma análoga a la imaginación y la despliega en el medio externo. De algún modo, tiene lugar un destello de intuición creativa en el sistema biológico.

SHELDRAKE: Exactamente. ¿Cree que estas relaciones entre partes que luego acaban constituyendo una totalidad mayor pudieron, tiempo atrás, haber dado lugar a las fuerzas fundamentales de la física? ¿Podrían, por ejemplo, las fuerzas de la gravitación que mantienen unida a la materia haberse originado a partir de una intuición creativa original?

BOHM: Bien podríamos decir que, al unificar varias cosas tiempo atrás dispersas, se produjo súbitamente una realización de su unidad y que eso creó una nueva totalidad, que es el universo, tal y como hoy lo conocemos. Y también podríamos decir, en este mismo sentido, que la naturaleza tiene un propósito, un propósito mucho más profundo que lo que superficialmente parece.

SHELDRAKE: ¿Las leyes de la naturaleza están dadas de una vez por todas o van construyéndose gradualmente? ¿Qué opina usted al respecto?

BOHM: Yo creo, desde la perspectiva proporcionada por la noción de orden implicado, que la noción de campo formativo es absolutamente necesaria. Hasta la moderna física apunta en esa dirección al afirmar que hubo un tiempo (anterior, por ejemplo, al Big Bang) en el que ni siquiera existían las unidades (moléculas, quarks, átomos) en las que basamos la necesidad. ¿Afirmaría usted, si cree en la existencia de ciertas leyes fijas y eternas de las moléculas y los átomos, que esas leyes eran previas a la existencia de los átomos y de las moléculas? Poca cosa puede decir, en ese sentido, la física, ¿no le parece? Lo único que al respecto podemos decir es que, en un determinado momento, se formaron esas partículas. Así que tuvo que haber un desarrollo real en el que acabó fijándose la necesidad de un determinado campo. Esto es precisamente lo que ocurre cuando se enfría una sustancia al punto de licuarse: al principio aparecen pequeñas gotas de líquido, que son provisionales, pero que luego van creciendo y estabilizándose cada vez más. Hoy en día, los físicos explican todo esto diciendo que las leyes que rigen las moléculas son eternas y que las moléculas son una mera consecuencia de esas leyes, de las que se derivan. Pero, si les preguntas dónde se encontraban las moléculas, responden que originalmente

eran protones y electrones que, a su vez, originalmente eran quarks que, a su vez, originalmente eran subquarks..., hasta llegar a un estadio en el que ninguna de estas unidades existía y todo el esquema parece desvanecerse. Así que lo único que, hablando en términos generales, podemos decir es que los campos de necesidad no son eternos, sino que están formándose y desarrollándose de continuo.

SHELDRAKE: Yo creo que los científicos convencionales todavía no se han enfrentado a todo esto. La ciencia se originó a partir de un concepto neoplatónico o neopitagórico, la idea de las leyes eternas que, durante mucho tiempo, se ha dado por sentada. Y también creo que la aparición, dentro del ámbito de la biología, de la teoría de la evolución supuso el comienzo de un cambio muy importante. Entonces accedimos a una visión evolutiva de la realidad que afectaba a los animales y a las plantas, pero todavía se consideraba que los fundamentos del mundo físico, es decir, de los mundos molecular y atómico, eran eternos. La cosmología del Big Bang se halla, por el momento, bastante aceptada. Todo el universo se halla en proceso de evolución. Me parece que esto provoca y *debería* provocar una crisis. La idea de leyes eternas que, de algún modo, se propagan a través del tiempo y del espacio deja de tener sentido cuando se admite que se ha producido el Big Bang, porque entonces se plantea el siguiente problema: ¿dónde estaban esas leyes antes del Big Bang?

BOHM: También existe la creencia, ampliamente aceptada, de que, en el corazón de los agujeros negros, las leyes, tal y como las conocemos, desaparecerían. Pero, como usted dice, los científicos no se han enfrentado a este problema porque todavía piensan, como antes, en términos de leyes eternas. Pero algunos físicos ya han empezado a darse cuenta. En una reciente conferencia, un cosmólogo dijo: «So-

lía pensar que todo era una ley de la naturaleza, que todo estaba establecido, pero, en lo que se refiere a un agujero negro, puede pasar cualquier cosa. Incluso cabe la posibilidad de que emita un destello con el símbolo de la Coca-Cola». [*Risas.*] Parece, pues, que la noción de leyes eternas ya no es válida, puesto que el mismo tiempo forma parte de la necesidad que desarrolló. Los agujeros negros no implican el tiempo ni el espacio tal y como habitualmente los conocemos porque, en un agujero negro, se desvanecen. Lo que desaparece no es la materia, sino cualquier orden regular que conocemos y, en consecuencia, lo mismo podríamos decir que todo es posible como que nada es posible.

SHELDRAKE: Lo más interesante sobre la teoría del Big Bang es que, en el mismo momento en que te planteas la cuestión sobre el origen de las leyes de la naturaleza, te ves obligado a reconocer los supuestos *filosóficos* que constituyen el fundamento de cualquier ciencia. Los que se consideran mecanicistas pragmáticos puros creen que la metafísica es una pérdida de tiempo, una actividad especulativa e inútil y se consideran científicos prácticos que sólo están interesados en su trabajo. Pero podemos obligarles a darse cuenta de que, al considerar como eternas las leyes de la naturaleza, hay una perspectiva metafísica implícita en todo lo que dicen o piensan. Y lo cierto es que son muchas, en ese sentido, las perspectivas metafísicas posibles. Cuando mis amigos biólogos me dicen que lo que yo hago es metafísica, yo les pregunto si se han parado a pensar en lo que están haciendo ellos. Les pregunto dónde se encontraban, antes del Big Bang, las leyes de la naturaleza. Y la mayoría responden que siempre han existido. Y cuando finalmente les pregunto si acaso, antes del Big Bang, esas leyes flotaban en la nada porque, antes

de él, no existía ningún tipo de materia, contestan que, de algún modo, debían existir. Y entonces les pregunto si no les parece ése un concepto metafísico, en cualquier sentido de la palabra metafísica, porque va más allá de la física. Tarde o temprano, pues, acaban admitiéndolo. En cuanto entras en ese dominio, va desvaneciéndose la certeza en la que se basa la visión del mundo de muchos científicos. Es evidente que la ciencia actual presupone, de forma completamente acrítica, la existencia de un solo tipo de metafísica. Cuando topas con esta realidad deberías, por lo menos, empezar a pensar en ello, en lugar de asumir simplemente una forma de pensar que das por sentada. Y, cuando empiezas a pensar de ese modo, empiezas también a profundizar en tu propia comprensión.

NOTAS

Prólogo

1. Por su excelente revisión de este período del optimismo mecanicista, véase Le Fanu (2008).
2. Venter (2007), pág. 299.
3. *Ibid*, pág. 300.
4. Olsen y Varki (2004).
5. *Wall Street Journal*, 2 de mayo de 2004.
6. Carroll et al. (2001).
7. Gerhart y Kirschner (1997).
8. Sheldrake (1988).
9. Dürr (1997), traducido en Dürr (2007).
10. Bohm (1980), pág. xv.
11. Dürr, H-Pág. (1997), pág. 247.
12. Greene (2000).
13. Carr (en prensa).
14. Laszlo, E. (2004).
15. Sheldrake (2003).
16. Sheldrake (2004).
17. Maddox (1981).
18. Esta controversia está completamente documentada en la segunda edición inglesa de este libro, publicada en 1985 por Blond (Londres).
19. Josephson (1981).
20. BBC 2 TV, «Heretics», 19 de julio de 1994.
21. Dürr y Gottwald (editores) (1997).
22. Horgan (1996), pág. 6.

Introducción

1. Véase la exposición particularmente lúcida que, a ese respecto, nos proporciona Monod (1972).
2. En el sentido de Kuhn (1962).
3. Véanse, por ejemplo, Russell (1945); Elsasser (1958); Polanyi (1958); Beloff (1962); Koestler (1967); Lenartowicz (1975); Popper y Eccles (1977) y Thorpe (1978).
4. Por ejemplo, Driesch (1908); Bergson (1911a, b). Como discusión del método vitalista, véase Sheldrake (1980b).
5. Popper (1965), pág. 37.
6. Whitehead (1928).
7. Por ejemplo, Woodger (1929); Von Bertalanffy (1933); Whyte (1949); Elsasser (1966); Koestler (1967) y Leclerc (1972).
8. En una reciente conferencia sobre «Los problemas del reduccionismo en biología», se ilustró el fracaso del enfoque organicista para establecer alguna diferencia significativa en el ámbito de la investigación biológica por el acuerdo general que, en la práctica, sostienen mecanicistas y organicistas. Esto llevó a uno de los participantes a observar que es posible que los argumentos reduccionistas/antirreduccionistas tengan, entre los biólogos, mucha menos importancia y efecto sobre la dirección de la biología que la que tuvieron, entre los filósofos, discusiones abstractas similares (Ayala y Dobzhansky, eds., 1972, pág. 85).
9. En Weiss (1939) puede encontrarse una explicación clásica.
10. Por ejemplo, Elsasser (1966, 1975) y Von Bertalanffy (1971).
11. Véase, por ejemplo, la discusión al respecto entre C.H. Waddington y R. Thom en Waddington, ed. (1969), pág. 242.
12. Este punto se discutirá en el capítulo final de este libro.
13. Ésta es una evidencia que discutiremos en el apartado 11.2.

1. Los problemas pendientes de la biología

1. Huxley (1867), pág. 74.
2. Véanse, por ejemplo, Crick (1967) y Monod (1972). Ambos autores afirman, probablemente con razón, que sus opiniones son representativas de las de la mayoría de sus colegas. En realidad, la explicación de Crick, menos sofisticada que la de Monod, se acerca más al modo de pensar de la mayoría de especialistas en biología molecular. Pero el

- planteamiento de Monod es el más claro y explícito de los expuestos, en los últimos años, por la posición mecanicista.
3. Gerhart y Kirchner (1997).
 4. Holland (ed.) (2003).
 5. Needham (1942), pág. 686.
 6. Driesch (1908).
 7. Wolff (1902).
 8. Otro concepto que posee el mismo papel explicativo que el programa genético es el *genotipo*. Aunque esta palabra no es tan obviamente teleológica, se utiliza a menudo en el mismo sentido que la expresión "programa genético". En un análisis detallado, Lenartowicz (1975) demuestra que la identificación entre genotipo y ADN despoja al primer concepto de todo su aparente potencial explicativo.
 9. Los lectores interesados en una discusión más completa pueden consultar, en este sentido, Sheldrake (1980a).
 10. Dawkins (1976).
 11. Von Frisch (1975) nos proporciona numerosos ejemplos en este mismo sentido.
 12. Ricard (1969).
 13. Rensch (1959); Mayr (1963) y Stebbins (1974).
 14. Goldschmidt (1940) y Wills (1940).
 15. Crick y Orgel (1973).
 16. Hoyle y Wickramasinghe (1978).
 17. Eigen y Schuster (1979).
 18. Véase, por ejemplo, en este sentido, la discusión de Beloff (1962) y Popper y Eccles (1977).
 19. Schopenhauer (1983) pone claramente de relieve este problema.
 20. D'Espagnat (1976), pág. 286.
 21. Wigner (1961, 1969) y Penrose (1989).
 22. Por ejemplo, Watson (1924); Skinner (1938) y Broadbent (1961).
 23. Véase, por ejemplo, en este sentido, Beloff (1962); Koestler (1967) y Popper y Eccles (1977).
 24. Damasio (1994).
 25. Varela et al. *Ibíd.*, pág. 75.
 26. Churchland (2992).
 27. Pauen et al. (2006).
 28. Hyslop (1998).
 29. Chalmers (1996).
 30. Jung (1959). pág. 43.
 31. *Ibíd.*, pág. 75.

32. Sheldrake (2003).
33. Ashby (1972) proporciona una bibliografía crítica sobre los principales aspectos de la investigación parapsicológica, y en Wolman (ed.) y Radin (1997) puede encontrarse una amplia revisión de la bibliografía al respecto.
34. Thouless (1972), Radin (1997 y 2006) y Sheldrake (2003).
35. Taylor y Balanovski (1979).
36. Véase, a modo de revisión de la bibliografía teórica, Rao (1977).
37. Por ejemplo, Walter (1975); Whiteman (1977) y Hasted (1978).

2. Tres teorías sobre la morfogénesis

1. Como ejemplo de la forma en que una consideración de resultados de investigación descriptiva puede conllevar la formulación de hipótesis, véase Crick y Lawrence (1975).
2. Carroll et al. (2001), pág. 47.
3. Wolpert (1978).
4. King y Wilson (1975)
5. Olsen y Varki (2004).
6. *Ibíd.*
7. MacWilliams y Bonner (1979).
8. Sheldrake (1973).
9. Como discusión teórica de este problema, véase Meinhardt (1978).
10. Roberts y Hyams (eds.) (1979).
11. Nicolis y Prigogine (1977).
12. Kauffmam (1994).
13. Driesch (1914), pág. 119.
14. Driesch (1929), pág. 290.
15. Driesch (1908), vol. 1, pág. 203.
16. Driesch (1929), págs. 152-4, 293.
17. *Ibíd.*, págs. 135, 291
18. *Ibíd.*, pág. 246.
19. *Ibíd.*, pág. 103.
20. *Ibíd.*, pág. 246.
21. *Ibíd.*, pág. 266
22. *Ibíd.*, pág. 262.
23. Eddington (1935), pág. 302.
24. Eccles (1953).

25. Por ejemplo, Walker (1975); Whiteman (1977); Hasted (1978) y Lawden (1980).
26. Compárese con el concepto de "causalidad mnémica" de Bertrand Russell (1921).
27. La idea según la cual la memoria y el instinto son dos aspectos del mismo fenómeno ha sido propuesta, entre otros, por Butler (1878); Semon (1921) y Rignano (1926). Sin embargo, estos autores suponen que la herencia de la memoria tiene lugar físicamente, a través del plasma germinal, implicando de este modo un tipo de herencia lamarckiana.
28. Carrington (1945).
29. Hardy (1965), pág. 257.
30. Véase, como discusión de estas influencias y explicación del subsiguiente desarrollo de ideas organicistas, Haraway (1976). El primer resumen de la concepción organicista de la morfogénesis corresponde a Von Bertalanffy (1933).
28. Gurwitsch (1922).
29. Hardy (1965), pág. 257.
29. Como exposición sistemática de las ideas de P. Weiss, véase su *Principles of Development* (1939).
30. Los lectores interesados en una discusión de todas estas influencias y en un relato del desarrollo posterior de las ideas organísmicas pueden consultar Haraway (1976). El mejor resumen temprano de la visión organicista de la morfogénesis lo proporciona Von Bertalanffy (1933).
31. Gurwitsch (1922).
33. Waddington (1957), capítulo 2.
34. Thom (1975a).
35. *Ibíd.*, págs. 6-7.
36. Abraham y Shaw (1984).
37. Thom (1983).
38. Waddington no explicó el origen organicista de sus conceptos por la razón indicada en el siguiente párrafo, escrito hacia el final de su carrera: «Como no tengo un carácter agresivo y vivía en un período agresivamente antimetafísico, opté por no exponer públicamente estas opiniones filosóficas. En 1928 escribí un ensayo titulado "La controversia vitalista-mecanicista y el proceso de abstracción" que nunca se vio publicado. En cambio, intenté adoptar una perspectiva whiteheadiana utilizándola en determinadas situaciones experimentales. Por ello los biólogos que no prestan la menor atención a la metafísica ignoran lo que ésta esconde, aunque generalmente reaccionan como si se sintieran oscuramente incómodos» (Waddington, ed., 1969, págs. 72-81).

39. Waddington (ed.) (1969), págs. 238, 242.
40. Por ejemplo, Elsasser (1966, 1975) y Von Bertalanffy (1971). Los lectores interesados en este "organicismo mecanicista" harían bien en consultar Sheldrake (1981).
41. Goodwin (1979), págs. 112-113. Véase también Goodwin (1994).
42. Carroll et al. (2001).
43. Bolker (2000).
44. Gilbert et al. (1996).

3. Las causas de la forma

1. Sinnott (1963) efectúa una excelente introducción al problema de la forma orgánica.
2. Los lectores interesados en este problema, pueden echar un vistazo a Thom (1975 a).
3. *Ibíd.*, pág. 320.
4. Thom (1975 b).
5. Véase, para una discusión sobre la relevancia limitada de la teoría de la información en el ámbito de la biología, Waddington (1975), págs. 209-230.
6. Esto es lo que explican algunos matemáticos como, por ejemplo, Penrose (1899).
7. Ruyer (1974) ofrece numerosos ejemplos de la combinación de aspectos de la filosofía organicista con especulaciones explícitamente neoplatónicas en su referencia a un pequeño grupo de neognósticos de Estados Unidos, entre cuyos miembros se encuentran varios destacados científicos.
8. Véase Emmet (1966).
9. Pauling (1960), pág. 220.
10. *Ibíd.*, pág. 543.
11. Pauling (1960), pág. 543.
12. Maddox (1988).
13. Dunitz y Scheraga (2004).
14. *Ibíd.*
15. Sanderson (2007).
16. Anfinsen y Scheraga (2004).
17. Véase la reciente revisión realizada al respecto por Némethy y Scheraga (1977).
18. www.predictioncenter.org/casp6/doc/categories.html.

19. Dunitz y Scheraga (2004).
20. Anfinsen y Scheraga (1975).
21. Véase el "principio de las clases infinitas" de Elsasser (1975).
22. Esta distinción entre causalidad formativa y casualidad energética se asemeja a la distinción aristotélica entre "causas formales" y "causas eficientes". La hipótesis, no obstante, de la causación formativa desarrollada en los siguientes capítulos difiere radicalmente de la teoría aristotélica que presupone formas eternamente determinadas.
23. Desde un punto de vista teórico, el papel causal de los campos morfogénéticos puede analizarse en términos de "condicionantes contrafácticos". Véase, para una discusión al respecto, Mackie (1974).
24. Arthur Koestler sugiere el uso del término *holón* para dichos «sistemas abiertos autorreguladores que presentan tanto las propiedades autónomas de la totalidad como las propiedades dependientes de las partes» (en Koestler y Smythies, eds., 1969, págs. 210-211). Aunque este término se utilice en un sentido más amplio que la expresión "unidad mórfica" e incluya, por ejemplo, estructuras lingüísticas y sociales, representa un concepto muy similar.

4. Campos morfogénéticos

1. La identificación de los campos morfogénéticos con los campos electromagnéticos es responsable de gran parte de la confusión inherente en la teoría de los "campos vivos" electrodinámicos de H.S. Burr. Burr (1972) cita pruebas irrefutables de que los organismos vivos están asociados a campos electromagnéticos que cambian en la medida en que cambian los organismos, pero luego afirma que estos campos controlan la morfogénesis actuando como "plantillas" para el desarrollo, lo que es una cuestión muy diferente.
2. Los lectores interesados en una revisión de la bibliografía sobre los cambios de configuración de las soluciones de proteínas deberían echar un vistazo a William (1979).
3. Anfinsen (1973), pág. 228.
4. Véase, a modo de discusión general de la causalidad probabilística, Suppes (1970).
5. Compárese con el concepto de campos de probabilidad o propensión de sir Kart Popper (Popper, 1967, y Popper y Eccles, 1977).
6. Esta sugerencia podría encajar con la visión de la física cuántica defendida por Bohm (1969, 1980) y Hiley (1980).

7. Éste y otros ejemplos de lo que R. Thom denomina "catástrofes generalizadas" se discuten en el capítulo 6 de su obra *Structural Stability and Morphogenesis*.
8. Bentley y Humphreys (1962).
9. Véase Nicolis y Prigogine (1977). Haken (1977) presenta una visión diferente, aunque relacionada, de estos problemas.
10. Stevens (1977).
11. La teoría del caos proporciona modelos para este tipo de procesos formativos en términos de "atractores extraños" (Gleik, 1988).
12. Sir D'Arcy Thompson, en su ensayo clásico *On Growth and Form* (1942), sugiere la posibilidad de explicar muchos aspectos de la morfogénesis biológica en términos de fuerzas físicas. Por ejemplo, el plano de división celular podría deberse a cuestiones de tensión superficial, que tenderían a presentar la menor superficie. Pero son tantas las excepciones que es muy poco el interés que han acabado despertando estas sencillas interpretaciones. Los lectores interesados en una discusión de las teorías de Thompson pueden consultar Medawar (1968).
13. Dustin (1978) y Roberts y Hyams, eds. (1979), nos presentan una nueva visión de las propiedades y funciones de los microtúbulos.
14. Podría sugerirse que el retículo endoplasmático liso desempeña un papel muy importante en el transporte de subunidades de microtúbulos hacia las regiones donde éstos se agregan (Burgess y Northcote, 1968). También se ha sugerido la presencia de "elementos de nucleación" que pueden agruparse, formando "centros de organización de microtúbulos" (J.B. Tucker, en Roberts y Hyams, eds., 1979).
15. Street y Henshaw (1965).
16. Véase, a modo de ejemplo, Willmer (1970).
17. En algunos casos, los núcleos se destruyen en los últimos estadios de la diferenciación (como sucede, por ejemplo, en el caso de las vesículas xilemáticas de las plantas o en los glóbulos rojos de los mamíferos). En ambos casos, los núcleos podrían actuar como gérmenes morfogenéticos para el proceso de diferenciación durante el tiempo que permanecieran intactos. Luego los estadios finales de diferenciación podrían llevarse a cabo simplemente de forma mecánica mediante sencillos procesos químicos no sujetos al orden morfogenético, por medio de la liberación de enzimas hidrolíticas.
18. En algunas algas como, por ejemplo, el *oedogonium*, la membrana nuclear permanece intacta durante la mitosis. Probablemente se trate de una característica evolutiva muy primitiva (Pickett-Heaps, 1975).
19. Pickett-Heaps (1969).

20. Clowes (1961).
21. Wolpert (1978).

5. *La influencia de las formas anteriores*

1. Mackie (1974), pág. 19
2. Hesse (1961), pág. 285.
3. Se han descrito muchos ejemplos de oscilaciones en sistemas biológicos. Véase, por ejemplo, la revisión de oscilaciones a nivel celular efectuada de Rapp (1979).
4. Efectivamente, la vibración de un sistema originada por un estímulo energético "unidimensional" puede dar lugar a formas y pautas definidas: las "figuras de Chladni" producidas por la arena u otras partículas pequeñas en un diafragma en vibración constituyen un sencillo ejemplo. En Jenny (1967) pueden encontrarse ilustraciones de numerosas pautas bidimensionales y tridimensionales en superficies vibrantes. Sin embargo, no pueden compararse con el tipo de morfogénesis que gira en torno a la resonancia mórfica.
5. En Hesse (1961) y Mackie (1974) se discute la posibilidad de la influencia causal de eventos futuros.
6. Las pruebas de precognición sólo serían relevantes para este argumento si se supiera que los estados mentales, en sentido metafísico, constituyen un aspecto de los estados físicos del organismo, que discurren paralelos o que son epifenómenos de los mismos. Desde el punto de vista del interaccionismo, sin embargo, para que se produjera una influencia de los estados *mentales* futuros no sería imprescindible que una influencia *física* "retrocediera" en el tiempo. Estas alternativas metafísicas se discuten en el capítulo 12.
7. Woodard y McCrone (1975).
8. *Ibíd.*, pág. 81.
9. Holden y Singer (1961), págs. 80-81.
10. *Ibíd.*, pág. 81.
11. Woodard y McCrone (1975).
12. Goho (2004).
13. Bernstein (2002), pág. 90.
14. Citado en Woodard y McCrone (1975).
15. Danckwerts (1982).

6. La causación formativa y la morfogénesis

1. Parece probable que una causa importante del envejecimiento, al menos a nivel celular, radique en la acumulación de productos de desecho nocivos que las células no pueden eliminar. Según una teoría reciente, si las células crecieran de un modo lo suficientemente rápido, podrían “adelantarse” a esta acumulación y acabar diluyéndolas, a lo largo del proceso de desarrollo. Además, durante las divisiones celulares asimétricas, tan frecuentes en los animales como en las plantas superiores, estas sustancias pueden pasar a las células hijas rejuveneciéndolas, a expensas de la mortalidad de otras. Este rejuvenecimiento depende del crecimiento y de la división celular: los puntos finales morfogenéticos –las células diferenciadas, los tejidos y los órganos de los organismos multicelulares– son necesariamente mortales (Sheldrake, 1974).
2. Los lectores interesados en conocer ejemplos de este tipo en el reino animal, pueden consultar Weiss (1939), mientras que los interesados en el reino vegetal harían bien en echar un vistazo a Wardlaw (1965).
3. La discusión clásica en torno a este punto, no, por elemental, menos importante, se encuentra en el capítulo titulado «On the magnitude», de Thompson (1942).
4. Si el sistema se “identifica” con una determinada ubicación y si su permanencia en esa ubicación depende de la resonancia mórfica consigo misma en el pasado inmediato, su resistencia a verse desplazado de esa ubicación, es decir, su *masa inercial*, debería estar relacionada con la frecuencia de esa resonancia. Y, puesto que la resonancia depende de ciclos vibratoriales característicos, no puede producirse en un instante, porque un ciclo de vibración requiere tiempo. Cuanto más elevada sea la frecuencia de vibración, más recientes serán los estados anteriores con los que resuena y mayor también, en consecuencia, la tendencia del sistema a permanecer “atado” a su ubicación al pasado inmediato. Y cuanto menor, por el contrario, sea la frecuencia de vibración, menos intensa será la tendencia de un sistema a “identificarse” consigo mismo en una determinada ubicación, razón por la cual podrá desplazarse en relación con otros objetos antes de “advertir” siquiera que lo ha hecho.

Existe una considerable similitud entre la relación sugerida anteriormente y la proporcionalidad entre la masa de una partícula y la frecuencia de su onda material definida por la ecuación de De Broglie:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

en donde m es la masa de la partícula, v la velocidad de la vibración, h la constante de Planck y c la velocidad de la luz. Ésta es una ecuación fundamental de la mecánica cuántica que se ve ampliamente respaldada por la evidencia experimental.

5. Karl Popper, entre otros, ha señalado que, al hablar de dualismo entre partículas y ondas, se crea una gran confusión, razón por la cual ha sugerido el abandono del término "dualismo": «Yo propongo que, en lugar de ello, hablemos (como hizo Einstein) de la partícula y de sus campos de propensión *asociados* (el plural indica que el campo no sólo depende de la partícula, sino también de otras condiciones), evitando, de este modo, sugerir la existencia de una relación simétrica. Sin asumir tal terminología ("asociación" en lugar de "dualismo"), el término "dualismo" prevalecerá, con todos los malentendidos que ello genera, al subrayar la asociación que existe entre partículas y campos de propensiones.» (Popper, 1967, pág. 41).

Esta propuesta coincidiría con la hipótesis de la causación formativa si considerásemos que los campos de propensión incluyen a los campos morfogenéticos.

7. La herencia de la forma

1. Morata y Lawrence (1977).
2. Snoad (1974).
3. Carroll et al. (2001)
4. Bourguet (1999).
5. Fisher (1930).
6. Haldane (1939).
7. Serra (1966).
8. Baldwin (1902).
9. Muchas de estas pruebas se resumen en Semon (1912) y Kammerer (1924).
10. Koestler (1971).
11. Medvedev (1969).
12. Vines (1998).
13. Waddington (1956).
14. *Ibíd.*, pág. 65.
15. Waddington (1957).
16. Véase la discusión al respecto entre C.H. Waddington y A. Koestler en Koestler y Smythies (eds.) (1969), págs. 382-391.

17. Waddington (1975), pág. 87.
18. *Ibíd.*, págs. 87-88.
19. Ho et al., (1983).
20. Experimentos más recientes llevados a cabo en la Universidad de Stanford han confirmado también el aumento progresivo en la proporción de fenocopias bitórax en sucesivas generaciones de moscas expuestas a los vapores de éter (Gibson y Hogness, 1996).
21. Goldschmidt (1940), pág. 267.
22. Waddington (1961).
23. Lambert et al., (1989).
24. Stebbins y Basile (1986).

8. La evolución de las formas biológicas

1. Hooper (2002). Experimentos recientes proporcionan pruebas nuevas y mejores en favor de la hipótesis de la predación de los pájaros (De Roode, 2007).
2. Véase, por ejemplo, Wilson (1975).
3. En Huxley (1942), Rensch (1959), Mayr (1963) y Stebbins (1974), pueden encontrarse muchos ejemplos de la posición neodarwiniana.
4. Goldschmidt (1940) y Gould (1980).
5. Willis (1940) apela a este argumento ilustrándolo con muchos ejemplos.
6. Quizás la crítica más interesante de la teoría mecanicista de la evolución sea todavía la realizada por H. Bergson en su *L'évolution créatrice* (1911). Bergson no sostiene que la evolución en su conjunto tenga un propósito y una dirección. Esta posición se ve mantenida también por P. Teilhard de Chardin (1959). Los lectores interesados en una discusión reciente al respecto pueden consultar Thorpe (1978).
7. Véase, por ejemplo, Monod (1972).
8. Rensch (1959).
9. Véase, en este sentido, los ilustrativos ejemplos presentados al respecto por Darwin (1875).
10. Rensch (1959).
11. Thompson (1942), págs. 1094-1095.
12. Wigglesworth (1964).
13. Lewis (1963 y 1978).
14. Véase el capítulo titulado «Reversión o atavismo», en Darwin (1875).
15. Lewis (1978).

16. Por ejemplo, Penzig (1922). Véase, a modo de discusión reciente al respecto, Dostal (1967) y Riedl (1978).
17. R.J. Britten en Duncan y Weston-Smith (eds.) (1977).
18. Rensch (1959).

9. Movimientos y campos motores

1. Los lectores interesados en una explicación clásica al respecto pueden consultar Darwin (1980).
2. Darwin (1882).
3. Audus (1979).
4. Curry (1968).
5. Jaffé (1973).
6. Siegelman (1968).
7. Bübbing (1973).
8. Satter (1979).
9. Bose (1926); Roblin (1979).
10. Bentrup (1979).
11. Diferentes especies de *Amoeba* muestran pautas de movimiento y respuesta distintas a las propias de la *Amoeba proteus*. Así, por ejemplo, la *Amoeba limax* forma pocos pseudópodos y suele avanzar como una única masa alargada, la *Amoeba verrucosa* avanza lentamente manteniendo una forma casi constante y la *Amoeba velata* proyecta generalmente un pseudópodo que se asemeja a un tentáculo. No obstante, los principios generales del movimiento parecen ser los mismos. Los lectores interesados en más detalles y referencias al respecto pueden consultar Jennings (1906).
12. F.D. Warner, en Roberts y Hyams (eds.) (1979).
13. Sleight (1968).
14. Jennings (1906).
15. Eckert (1972).
16. Por ejemplo, Pecher (1972).
17. Verveen y de Felice (1974).
18. Katz y Miledi (1970).
19. Stevens (1977).
20. Katz (1966).
21. Como hemos mencionado en el capítulo 12 de *La presencia del pasado*.
22. Lindauer (1961).

23. Véase Thom (1975), capítulo 13.
24. Jennings (1906).
25. Como he subrayado en mi libro *The Sense of Being Stared At*.
26. Freeman (1999).
27. Hingston (1928).
28. Marais (1971) y von Frisch (1975).
29. Hingston (1928).

10. Instinto y aprendizaje

1. Kandel (1979).
2. *Ibíd.*
3. H.A. Buchtel y G. Berlucchi, en Ducan y Weston-Smith (eds.) (1977).
4. Lashley (1950), pág. 478.
5. Boycott (1965).
6. Pribam (1971).
7. Véase, a modo de revisión y discusión extensa, Thorpe (1963).
8. Tinbergen (1951), pág. 27.
9. *Ibíd.*
10. Thorpe (1963).
11. Por ejemplo, Jennings (1906).
12. Hinde (1966).
13. Thorpe (1963), pág. 429.
14. Spear (1978).
15. Aunque esta idea, sugerida por Hebb (1949), ha sido defendida durante muchos años, jamás se han aportado pruebas experimentales que la refuten o la confirmen.
16. Köhler (1925).
17. Loizos (1967), pág. 203.
18. Thorpe (1963).

11. Herencia y evolución de la conducta

1. Parsons (1967).
2. Brenner (1973).
3. Benzer (1973).
4. Manning (1975), pág. 80.
5. Dilger (1962).

6. McDougall (1927), pág. 282.
7. McDougall (1938).
8. McDougall (1930).
9. Crew (1936).
10. McDougall (1938).
11. Crew (1936), pág. 75.
12. Tinbergen (1951), pág. 201.
13. Agar, Drummond, Tiegs y Gunson (1954).
14. Rhine y McDougall (1933), pág. 223.
15. Fueron varias las explicaciones que se dieron a estos experimentos, —que se discuten en los artículos de McDougall a los que el lector interesado debería acudir—, pero ninguna de ellas resultó, no obstante, plausible tras un examen detallado.

Agar et al., (1954) constataron que las variaciones en la tasa de aprendizaje estaban relacionadas con cambios, que afectaban a varias generaciones, en la salud y el vigor de las ratas, un efecto que McDougall también había constatado. Un análisis estadístico demostró la existencia de una correlación baja, aunque significativa (al nivel del 1% de probabilidad), entre el vigor (medido en términos de fertilidad) y el índice de aprendizaje en la línea “adiestrada” que no se advirtió, no obstante, en la “no adiestrada”. Cuando se consideraban únicamente las cuarenta primeras generaciones, los coeficientes de correlación eran algo superiores: 0,40 en la línea “adiestrada” y 0,42 en la línea “no adiestrada”. Y, aunque esta correlación puede contribuir a dar cuenta de las fluctuaciones de los resultados, no explica la tendencia global. Según la teoría estadística estándar, la proporción de la variación “adiestrada” por una variable correlacionada, viene dada por el cuadrado del coeficiente de correlación, en este caso $(0,4)^2 = 0,16$. Dicho en otras palabras, las variaciones de vigor sólo explican el 16% de los cambios en la tasa de aprendizaje.

16. McDougall estimó el promedio de errores en su primera generación en 165, una cifra que, en los experimentos de Crew y de Agar fue de 24 y 72, respectivamente. Véase la discusión que, al respecto, presentan Crew (1936) y Agar, Drummond y Tiegs (1942). Si el grupo de Agar hubiese empleado ratas de parentesco idéntico y hubiera seguido los mismos procedimientos experimentales utilizados por Crew, cabría esperar puntuaciones iniciales inferiores. El distinto parentesco de sus ratas y las diferencias en el procedimiento de análisis, sin embargo, conducen a resultados que no resultan comparables. La gran facilidad de aprendizaje que muestran estos experimentos posteriores resulta, no obstante, sugerente.

17. Brown (1975).
18. En Wilson (1975) y Dawkins (1976), pueden encontrarse numerosos ejemplos de este tipo de especulación.
19. Véase, por ejemplo, Clarke (1980).
20. Tinbergen (1951).
21. Thorpe (1963), Bekoff y Byers (eds.) (1998).
22. Dawkins (1976), pág. 206.
23. El lenguaje en particular nos proporciona un excelente ejemplo de la organización jerárquica de los campos motores, y René Thom ha llevado a cabo un interesante análisis al respecto desarrollando una teoría del lenguaje en términos de creodas. Véase Thom (1975a, capítulo 6).
24. Los lectores interesados en una discusión más completa del papel desempeñado por la resonancia mórfica en la herencia del pasado pueden echar un vistazo a los capítulos 14 y 15 de mi libro *La presencia del pasado*.

12. Cuatro posibles conclusiones

1. Algunas de las versiones modernas del materialismo dialéctico probablemente constituyan un buen punto de partida para el establecimiento, en este sentido, de un materialismo modificado. Ya incluyen, de hecho, muchos aspectos del planteamiento organicista y se basan en la idea de que la realidad es intrínsecamente evolutiva (Graham, 1972).
2. Los lectores interesados en un relato histórico y en una discusión crítica de las distintas teorías materialistas pueden echar un vistazo a los capítulos de sir Karl Popper, en Popper y Eccles (1977).
3. La hipótesis que sostiene la posibilidad de explicar tanto la telepatía como la memoria en términos de un nuevo tipo de "resonancia" trans-temporal y transespacial entre sistemas complejos similares ha sido esbozada ya por Marshall (1960). En este sentido, su sugerencia se anticipa, en ciertos aspectos importantes, a la noción de resonancia mórfica.
4. Aunque la telepatía y la psicokinesis puedan explicarse, teóricamente hablando, en términos de causación formativa, resulta difícil imaginar el modo en que esta hipótesis puede explicar otros fenómenos, como la clarividencia, que parecen plantear problemas insuperables para cualquier teoría física. Los lectores interesados en una revisión de diferentes teorías, tanto físicas como no físicas, aducidas para explicar los fenómenos parapsicológicos pueden echar un vistazo a Rao (1977).

5. Ryle (1949).
6. Por ejemplo, Eddington (1935); Eccles (1953) y Walter (1975).
7. Jouvét (1967).
8. Los lectores interesados en una discusión sobre la diferencia existente entre recuerdo o hábito motor y recuerdo consciente pueden consultar Bergson (1911b).
9. Véase, al respecto, la discusión de Rao (1977).
10. El lector podrá reconocer fácilmente, a la luz de esta clasificación, dos tipos diferentes de teoría dualista o vitalista. La primera de ellas, ejemplificada en los textos de Driesch (1908 y 1927), postula la existencia de un nuevo tipo de causalidad responsable de procesos biológicos repetitivos y regulares, que se corresponde con el sentido actual de la causación formativa. La segunda, desarrollada de un modo especialmente brillante por Bergson, subraya, por una parte, la causalidad consciente (en su *Matière et mémoire*) y la creatividad evolutiva, por otra (en *L'évolution créatrice*), aunque ninguna de ellas podría llegar a explicarse en términos de causalidad física.
11. Bergson (1911a).

Apéndice A

1. Sheldrake (1994, 1999 y 2003).
2. Las fuentes principales de las que proceden los datos sobre los puntos de fusión que he utilizado han sido ediciones diferentes de los siguientes manuales: *Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie*, *British Pharmacopoeia*, *British Pharmaceutical Codex*, *CRC Handbook of Chemistry and Physics* y el *Merck Index*. Además de estos manuales, también me he referido a muchos artículos originales aparecidos en un amplio abanico de revistas de química.
3. La determinación de los puntos de fusión fue llevada a cabo, trabajando "a ciegas", por A. Datta, que utilizó un modelo de microscopio de platina caliente especialmente diseñado para ello. También proporcioné muestras codificadas y una indicación del rango esperado aproximado. El trabajo fue llevado a cabo bajo la supervisión de la doctora Gwyn Hocking.
4. Como, por ejemplo, *Eremothecium ashbyii* (Sebrell y Harris, 1972).
5. Sebrell y Harris (1972).
6. *Merck Index*, 1996.
7. Altstaedter (1997).

8. Clarke et al. (1949).
9. Purseglove (1968).
10. Van Genderen et al. (2002a); Sheldrake (2002) y Van Genderen et al. (2002).
11. Davis y Oshier (1967).
12. Dunitz (1991).
13. Bernstein (2002).
14. Hill (2000).
15. *Ibíd.*, págs. 214-215.
16. Darwin (1905), pág. 377.
17. Roll-Hansen (2005).
18. Darwin (1905), pág. 379.
19. Vines (1998).
20. Sheldrake (19926).
21. Sheldrake (1992a) y Rose (1992).
22. Hadler y Buckle (1992).
23. Fisher y Hinde (1949).
24. Hinde y Fisher (1951).
25. Bedechek (1961), pág. 157.
26. *Ibíd.*, págs. 157-158.
27. Hoy (1982).
28. Sheldrake (1988), pág. 65.
29. *Guardian*, 28 febrero de 1985.
30. *Dady Telegraph*, 3 de marzo de 1997.
31. *Daily Telegraph*, 23 marzo de 1997.
32. *Huddersfield Daily Examiner*, 27 de julio de 2004.
33. Sheldrake (1990), capítulo 10.
34. Schwartz (1997).
35. Mahlberg (1987).
36. Ertel (1997).
37. Schorn et al. (2006).
38. Robbins y Roe (2008).
39. Sheldrake (1983).
40. *Institute of Noetic Sciences Bulletin*, otoño de 1991.
41. Dienes (1994).
42. Ertel (1997).
43. Anderson (1982).
44. Flynn (1983 y 1984).
45. Flynn (1987).
46. Neisser (1995) y Horgan (1995).

47. Horgan (1995).
48. *Ibíd.*
49. Varela y Letelier (1988).
50. Sheldrake (1989).
51. Fedanzo y Wingfield (1988).
52. Rooke, S., comunicación personal, octubre de 2007.
53. Trachtman (2000).

Apéndice B

1. Bohm (1957).
2. Bohm (1980).
3. Sheldrake y Bohm (1982).

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, R., y Shaw, C.D. (1984). *Dynamics: The Geometry of Behavior*. Aerial Press, Santa Cruz.
- Agar, W.E., Drummond, F.H., y Tiegs, O.W. (1942). «Second Report on a Test of McDougall's Lamarckian Experiment on the Training of Rats.» *Journal of Experimental Biology* 19, págs. 158-167.
- , y Gunson, M.M. (1954). «Fourth (Final) Report on a Test of McDougall's Lamarckian Experiment on the Training of Rats.» *Journal of Experimental Biology* 31, págs. 307-321.
- Altstädter, R. (1997) *100 Years of Acetyl-Salicylic Acid*. Bayer AG. Leverkusen.
- Anderson, A.M. (1982). «The Great Japanese IQ Increase.» *Nature*, 297, págs. 180-181.
- Anfinsen, C.B. (1973). «Principles that Govern the Folding of Protein Chains». *Science* 181, págs. 223-230.
- , y Scheraga, H.A. (1975). «Experimental and Theoretical Aspects of Protein Folding». *Advances in Protein Chemistry* 29, págs. 205-300.
- Ashby, R.H. (1972). *The Guidebook for the Study of Psychological Research*. Rider, Londres.
- Audus, L.J. (1979). «Plant Geosensors». *Journal of Experimental Botany* 30, págs. 1051-1073.
- Ayala, F.J., y Dobzhansky, T. (eds.) (1974). *Studies in the Philosophy of Biology*. Macmillan, Londres. [Versión en castellano: *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Editorial Ariel, 1983.]
- Baldwin, J.M. (1902). *Development and Evolution*. Macmillan, Nueva York.
- Banks, R.D., Blake, C.C.F., Evans, P.R., Haser, R., Rice, D.W., Hardy, G.W., Merrett, M. y Phillips, A.W. (1979). «Sequence, Structure and Activity of Phosphoglycerate Kinase.» *Nature* 279, págs. 773-777.
- Bedeckek, R. (nueva edición de 1961). *Adventures with a Texas Naturalist*. University of Texas Press. Austin.
- Beloff, J. (1962). *The Existence of Mind*. MacGibbon y Kee, Londres.

- , (1980). «Is Normal Memory a “paranormal” phenomenon?» *Theoria to Theory* 14, págs. 145-161.
- Bentley, W.A., y Humphreys, W.J. (1962). *Snow Crystals*. Dover, Nueva York.
- Benzer, S. (1973). «Genetic Dissection of Behavior.» *Scientific American* 229(6), págs. 24-37.
- Bergson, H. (1911a). *Creative Evolution*, Macmillan, Londres. [Versión en castellano: *La evolución creadora*. Madrid: Editorial Espasa-Calpe, 1985.]
- , (1911b). *Matter and Memory*. Allen and Unwin, Londres. [Versión en castellano: *Materia y memoria: ensayo de relación del cuerpo con el espíritu*. Buenos Aires: Editorial Cactus, 2006.]
- Bernstein, J. (2002). *Polymorphism in Molecular Crystals*. Clarendon Press. Oxford.
- Bohm, D. *Causality and Chance in Modern Physics*. Harper, Nueva York. [Versión en castellano: *Causalidad y azar en la física moderna*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 1959.]
- , (1969). «Some Remarks on the Notion of Order.» En Waddington (ed.) (1969).
- , (1969). *Towards a Theoretical Biology 2: Sketches*. Edinburg University Press, Edimburgo.
- , (1980). *Wholeness and the Implicate Order*. Routledge y Kegan Paul, Londres. [Versión en castellano: *La totalidad y el orden implicado*. Barcelona: Editorial Kairós, 1988.]
- Bolker, J.A. (2000). «Modularity in Development and why it Matters to Evo-devo». *American Zoologist* 40, págs. 770-776.
- Bonner, J.T. (1958). *The Evolution of Development*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bose, J.C. (1926). *The Nervous Mechanism of Plants*. Longmans, Green & Co., Londres.
- Boycott, B.B. (1965). «Learning in the Octopus.» *Scientific American* 212(3), págs. 42-50.
- Brenner, S. (1973). «The Genetics of Behaviour.» *British Medical Bulletin* 29, págs. 269-271.
- Broadbent, D.E. (1961). *Behaviour*. Eyre and Spottiswoode, Londres.
- Brown, J.L. (1975). *The Evolution of Behavior*. Norton, Nueva York.
- Bünning, E. (1973). *The Physiological Clock*. English Universities Press, Londres.
- Burgess, J, y Northcote, D.H. (1968). «The Relationship Between the Endoplasmic Reticulum and Microtubular Aggregation and Disaggregation». *Planta* 80, págs. 1-14.

- Burr, H.S. (1972). *Blueprint for Immortality*. Neville Spearman, Londres.
- Bursen, H.A. (1978). *Dismantling the Memory Machine*. Reidel, Dordrecht.
- Butler, S. (1878). *Life and Habit*. Cape, Londres.
- Carington, W. (1945). *Telepathy*. Methuen, Londres.
- Carr, B. (en prensa) «Words Apart: Can Psychical Research Bridge the Gap Between Matter and Mind». *Proceedings of the Society for Psychical Research*.
- Carroll, S.B., Grenier, J.K., y Weatherbee, S.D. (2001). *From DNA to Diversity: Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design*. Blackwell, Oxford.
- Chalmers, D. (1996). *The Conscious Mind: The Search for a Fundamental Theory*. Oxford University Press., Oxford. [Versión en castellano: *La mente consciente: en busca de una teoría fundamental*. Barcelona: Editorial Gedisa, 1999.]
- Chibnall, A.C. (1939). *Protein Metabolism in the Plant*. Yale University Press, New Haven.
- Churchland, P. (1992). *A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Clarke, H.T., Johnson, J.R., y Robinson, R. (eds.) (1949). *The Chemistry of Penicillin*. Princeton University Press, Princeton.
- Clarke, R. (1980). «Two men and their dogs.» *New Scientist* 87, págs. 303-304.
- Clowes, F.A.L. (1961). *Apical Meristems*. Blackwell, Oxford.
- Crew, F.A.E. (1936). «A Repetition of McDougall's Lamarckian Experiment.» *Journal of Genetics* 33, págs. 61-101.
- Crick, F.H.C. (1967). *Of Molecules and Men*. University of Washington Press., Seattle.
- , y Lawrence, P. (1975). «Compartments and Polyclones in Insect Development.» *Science* 189, págs. 340-347.
- , y Orgel, L. (1973). «Directed Panspermia.» *Icarus* 10, págs. 341-346.
- Curry, G.M. (1968). «Phototropism.» En *Physiology of Plant Growth and Development* (ed. M.B. Wilkins). McGraw-Hill, Londres.
- Damasio, A. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Putnam, Nueva York. [Versión en castellano: *El error de Descartes*. Barcelona: Editorial Crítica, 1996.]
- Danckwerts, P.V. (1982). «Letter». *New Scientist*, 11 de noviembre, págs. 380-381.
- Darwin, C. (1875). *The Variation of Animals and Plants Under Domestication*. Murray, Londres. [Versión en castellano: *La variación de los ani-*

- males y las plantas bajo domesticación*. Madrid: Libros de la Catarata-CSIC, 2 vols., 2008.]
- , (1980). *The Power of Movement in Plants*. Murray, Londres.
- , (1882). *The Movements and Habits of Climbing Plants*. Murray, Londres. [Versión en castellano: *Los movimientos y hábitos de las plantas trepadoras*. Madrid: Los Libros de la Catarata/CSIC, 2009.]
- Davis, B.L., y Oshier, E.M. (1967). «Memory Effect in Single-Crystal Transformations of Aragonite-type to Calcite-type Potassium Nitrate». *The American Mineralogist*, 32, págs. 957-973.
- Dawkins, R. (1976). *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford. [Versión en castellano: *El gen egoísta*. Barcelona: Editorial Labor, 1979.]
- De Chardin, P.T. (1959). *The Phenomenon of Man*. Collins, Londres. [Versión en castellano: *El fenómeno humano*. Madrid: Taurus Ediciones, 1963.]
- Dentrup, F.W. (1979). «Reception and Transduction of Electrical and Mechanical Stimuli.» En: *Encyclopedia of Plant Physiology* (eds. A. Pirson y M.H. Zimmermann), New Series Vol. 7, págs. 42-70. Springer-Verlag, Berlín.
- De Roode, J. (2007). «The Moths of War». *New Scientist*, 8 de diciembre, págs. 46-49.
- D'Espagnat, B. (1976). *The Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. Benjamin, Reading, Mass.
- Dienes, Z. (1994). «A Test of Sheldrake's Claim of Morfogenetic Resonance». *Journal of Scientific Exploration*, 8, pág. 578.
- Dilger, W.C. (1962). «The Behavior of Lovebirds.» *Scientific American* 206, págs. 88-98.
- Dostal, R. (1967). *On Integration in Plants*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Driesch, H. (1908, segunda edición 1929). *Science and Philosophy of the Organism*. A & C. Black, Londres.
- , (1914). *History and Theory of Vitalism*. Macmillan, Londres.
- , (1927). *Mind and Body*. Methuen, Londres.
- Duncan, R., y Weston-Smith, M. (eds.) (1977). *Encyclopedia of Ignorance*. Pergamon Press, Oxford.
- Dunitz, J.D., y Scheraga, H.A. (2004). «Exercises in Prognostication: Chrystal Structures and Protein Folding». *Proceedings of the Academy of Sciences USA* 101, págs. 14309-14311.
- Dürr, H.P., (1997). «Sheldrakes Vorstellungen aus dem Blickwinkel der modernen Physik.» En Dürr H.P. y Franz Theo Gottwald (eds.) *Rupert Sheldrake in der Diskussion*. Scherz Verlag, Berna.

- , y Gottwald, F.T. (eds.) (1997). *Rupert Sheldrake in Diskussion*. Scherz Verlag, Berna.
- Dustin, P. (1978). *Microtubules*. Springer-Verlag, Berlín.
- Eccles, J.C. (1953). *The Neurophysiological Basis of Mind*, Oxford University Press, Oxford.
- Eckert, R. (1972). «Bioelectric Control of Ciliary Activity.» *Science* 176, págs. 473-481.
- Eddington, A. (1935). *The Nature of the Physical World*. Dent, Londres. [Versión en castellano: *La naturaleza del mundo físico*. Buenos Aires: Editorial Sur, 1938.]
- Eigen, M., y Schuster, P. (1979). *The Hypercycle*. Springer-Verlag, Heidelberg y Nueva York.
- Elsasser, W.M. (1958). *Physical Foundations of Biology*. Pergamon Press, Londres.
- , (1966). *Atom and Organism*. Princeton University Press, Princeton.
- , (1975). *The Chief Abstractions of Biology*. North Holland, Ámsterdam.
- Emmet, D. (1966). *Whitehead's Philosophy of Organism*. Macmillan, Londres.
- Ertel, S. (1997). «Morfische Resonanz auf dem Prüfstand des Experimentes.» En Dürr, H.P. y Gottwald, F.T. (eds.) (1997). *Rupert Sheldrake in der Diskussion*. Scherz Verlag, Berna.
- Fedanzo, A., y Wingfield I.S. (1988). «Morfic Resonance Test». *Skeptical Inquirer*, otoño, págs. 100-101.
- Fisher, J., y Hinde, R.A. (1949). «The Opening of Milk Bottles by birds.» *British Birds*, 42, págs. 347-357.
- Fisher, R.A. (1930). *Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press, Londres.
- Flynn, J.R. (1983). «Now the Great Augmentation of the American IQ». *Nature* 301, pág. 655.
- , (1984). «The Mean IQ of Americans: Massive Gains 1932 to 1978». *Psychological Bulletin* 95, págs. 29-51.
- , (1987). «Massive IQ Gains in 14 Nations». *Psychological Bulletin* 101, págs. 171-191.
- Freeman, W.J. (1999). *How Brains Make Up Their Minds*. Weidenfeld and Micholson, Londres.
- Gerhart, J., y Kirschne, M. (1997). *Cells, Embryos and Evolution*. Blackwell Science, Oxford.
- Gibson y Hogness, D.S. (1996). «Effect of Polymorphism in the *Drosophila* Regulatory Gene *Ultrabithorax* on Homeotic Stability». *Science* 271, págs. 200-203.

- Gilber, S.F., Opik, J.M., y Raff, R.A. (1996). «Resynthesizing Evolutionary and Developmental Biology». *Developmental Biology* 173, págs. 357-372.
- Gleik, J. (1988). *Chaos: Making a New Science*. Heinemann, Londres.
- Goebel, K. (1898). *Organographie der Pflanzen*. Fischer, Jena.
- Goho, A. (2004). «The Crystal Form of a Drug Can Be the Secret of Its Success». *Science News* 166, págs. 122-124.
- Goldschmidt, R. (1940). *The Material Basis of Evolution*. Yale University Press, New Haven.
- Goodwin, B.C. (1979). «On Morphogenetic Fields.» *Theoria to Theory* 13, págs. 109-114.
- , (1994). *How the Leopard Changed its Spots: The Evolution of Complexity*. Weidenfeld and Nicholson, Londres. [Versión en castellano: *Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad*. Barcelona: Tusquets Editores, 1998.]
- Gould, S.J. (1980). «Return of the Hopeful Monster.» En *The Panda's Thumb*. Norton, Nueva York. [Versión en castellano: *El pulgar del panda: ensayo sobre evolución*. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1986.]
- Graham, L.A. (1972). *Science and Philosophy in the Soviet Union*. Knopf, Nueva York.
- Greene, B. (2000). *The Elegant Universe*. Vintage, Nueva York. [Versión en castellano: *El universo elegante*. Barcelona: Editorial Crítica, 2005.]
- Gurwitsch, A. (1922). «Über den Begriff des embryonalen Feldes.» *Archiv für Entwicklungsmechanik* 51, págs. 383-415.
- Hadler, M.R., y Buckle, A.P. (1992). «Forty Five Years of Anticoagulant Rodenticides. Past, Present and Future Trends». *Proceedings of the Fifteenth Vertebrate Pest Conference*. Universidad de Nebraska, Lincoln.
- Haken, H. (1977). *Synergetics*. Springer-Verlag, Berlín.
- Haldane, J.B.S. (1939). «The Theory of the Evolution of Dominance.» *Journal of Genetics* 37, págs. 365-274.
- Haraway, D.J. (1976). *Crystals, Fabrics and Fields*. Yale University Press, New Haven.
- Hardy, A. (1965). *The Living Stream*. Collins, Londres.
- Hasted, J.B. (1978). «Speculations About the Relation Between Psychic Phenomena and Physics.» *Psychoenergetic Systems* 3, págs. 243-257.
- Hebb, D.O. (1949). *The Organization of Behavior*, Wiley, Nueva York.

- Hekgaker, T., Ruden, T.A., Jorgensen, P., Olsen, J. y Kloppe, W. (2004). «A Priori Calculation of Molecular Properties to Chemical Accuracy». *Journal of Physical Organic Chemistry* 17, págs. 913-933.
- Hesse, M.B. (1961). *Forces and Fields*. Nelson, Londres.
- Hiley, B.J. (1980). «Towards an Algebraic Description of Reality.» *Annales de la Fondation Louis de Broglie* 5, págs. 75-103.
- Hill, M. (2000). «Adaptive State of Mammalian Cells and its Nonseparability Suggestive of a Quantum System». *Scripta Medica* 73, págs. 211-222.
- Hinde, R.A. (1966). *Animal Behavior*. McGraw-Hill, Nueva York.
- , y Fisher, J. (1951). «Further Observations on the Opening of Milk Bottles by Birds». *British Birds* 445, págs. 393-396.
- Hingston, R.W.G. (1928). *Problems of Instinct and Intelligence*. Arnold, Londres.
- Ho, M.W., Tucker, C., Keeley, D., y Saunders, P.T. (1983). «Effects of Successive Generations of Ether Treatment on Penetrance and Expression of the Bithorax Phenocopy in *Drosophila melanogaster*.» *Journal of Experimental Zoology* 225, págs. 357-368.
- Holden, A., y Singer, P. (1961). *Crystals and Crystal Growing*. Heinemann, Londres.
- Holland, O. (ed.) (2003). *Machine Consciousness*. Imprint Academic, Exeter.
- Hooper, J. (2002). *Of Moths and Men: Intrigue, Tragedy and the Peppered Moth*. Fourth Estate, Londres.
- Horgan, J. (1995). «Get Smart, Take a Test: A Long-term Rise in IQ Scores Baffles Intelligence Experts». *Scientific American*, noviembre, págs. 10-11.
- , (1996). *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*. Little, Brown and Company, Londres. [Versión en castellano: *El fin de la ciencia: los límites del conocimiento en el declive de la era científica*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 1998.]
- Hoy, J.F. (1982). *The Cattle Guard: Its History and Lore*. University Press of Kansas, Lawrence, Kansas.
- Hoyle, F., y Wickramasinghe, C. (1978). *Lifecloud*. Dent, Londres. [Versión en castellano: *La nube de la vida: los orígenes de la vida en el universo*. Barcelona: Editorial Crítica, 1982.]
- Huxley, J. (1942). *Evolution: The Modern Synthesis*. Allen y Unwin, Londres. [Versión en castellano: *La evolución: síntesis moderna*. Buenos Aires: Editorial Losada, 1946.]

- Huxley, T.H. (1867). *Hardwicke's Science Gossip* 3, pág. 74.
- Hyslop, A. (1998). «Methodological Epiphenomenalism.» *Australasian Journal of Philosophy* 76, págs. 61-70.
- Jaffé, M.J. (1973). «Thigmomorphogenesis.» *Planta* 114, págs. 143-157.
- Jennings, H.S. (1906). *Behavior of the Lower Organisms*. Columbia University Press, Nueva York.
- Jenny, H. (1967). *Cymatics*. Basileus Press, Basel.
- Josephson, B. (1981). «Incendiary subject». *Nature* 294, 594.
- Jouvet, M. (1967). «The States of Sleep». *Scientific American* 216(2), págs. 62-72.
- Jung, C.G. (1959). *The Archetypes and the Collective Unconscious*. Routledge y Kegan Paul, Londres. [Versión en castellano: *Arquetipos e inconsciente colectivo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 1984.]
- Kammerer, P. (1924). *The Inheritance of Acquired Characteristics*. Boni and Liveright, Nueva York.
- Kandel, E.R. (1979). «Small Systems of Neurons.» *Scientific American* 241(3), págs. 61-71.
- Katz, B. (1966). *Nerve, Muscle and Synapse*. McGraw-Hill, Nueva York.
- , y Miledi, R. (1970). «Membrane Noise Produced by Acetylcholine.» *Nature* 226, págs. 962-963.
- Kauffman, S. (1994). *Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford University Press, Oxford.
- King, M.C., y Wilson, A.C. (1975). «Evolution at Two Levels in Humans and Chimpanzees.» *Science* 188, págs. 107-116.
- Koestler, A. (1967). *The Ghost in the Machine*. Hutchinson, Londres.
- , y Smythies, J.R. (eds.) (1969). *Beyond Reductionism*. Hutchinson, Londres.
- , (1971). *The Case of the Midwife Toad*. Hutchinson, Londres. [Versión en castellano: *El abrazo del sapo*. Barcelona: Editorial Aymá, 1973.]
- Köhler, W. (1925). *The Mentality of Apes*. Harcourt Brace, Nueva York.
- Krstić, R.V. (1979). *Ultrastructure of the Mammalian Cell*. Springer-Verlag, Berlín. [Versión en castellano: *Ultraestructura de las células de los mamíferos*. Barcelona: Ediciones Tres Torres, 1978.]
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago. [Versión en castellano: *La estructura de las revoluciones científicas*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1971.]
- Lambert, D. Stevens, C.S., Wite, C.S., Gentle, N.R., Philips, N.R., Millar, C.D., Barker, J.R., y Newcomb, R.D. (1989). «Phenocopies.» *Evolutionary Theory* 8, págs. 285-304.

- Lashley, K.S. (1950). «In Search of the Engram.» *Symposia of the Society for Experimental Biology* 4, págs. 454-482.
- Laszlo, E. (2004). *Science and the Akashic Field: An Integral Theory of Everything*. Inner Traditions International, Rochester, VT. [Versión en castellano: *La ciencia y al campo Akásiko*. Madrid: Ediciones Nowtilus, 2004.]
- Lauterwasser, A. (2006). *Water Sound Images*. Macromedia Publishing, Newmarket, NH.
- Lawden, D.F. (1989). «Possible Psychokinetic Interactions in Quantum Theory.» *Journal of the Society for Psychical Research* 50, págs. 399-407.
- Leclerc, I. (1972). *The Nature of Physical Existence*. Allen and Unwin, Londres.
- Le Fanu, J. (2008). *Why Us?* HarperCollins, Londres.
- Lenartowicz, P. (1975). *Phenotype-Genotype Dichotomy*. Universidad Gregoriana, Roma.
- Lewis, E.B. (1963). «Genes and Developmental Pathways.» *American Zoologist* 3, págs. 33-56.
- , (1978). «A Gene Complex Controlling Sementation in *Drosophila*.» *Nature* 276, págs. 565-570.
- Lindauer, M. (1961). *Communication Among Social Bees*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Lotzovs, C. (1967). «Play Behaviour in Higher Primates: A Review.» En *Primate Ethology* (Ed. D. Morris). Weidenfeld y Nicolson, Londres.
- Mackie, J.L. (1974). *The Cement of the Universe*. Oxford University Press, Oxford.
- MacKinnon, D.C., y Hawes, R.S.J. (1961). *An Introduction to the Study of Protozoa*. Oxford University Press, Oxford.
- MacWilliams, H.K., y Bonner, J.T. (1979). «The Prestalk-prespore Pattern in Cellular Slime Moulds.» *Differentiation* 14, págs. 1-22.
- Maddox, J. (1981). «A Book for Burning?» *Nature* 293, págs. 245-6.
- , (1988). «Crystals From First Principles.» *Nature* 335, pág. 201.
- Maheshwari, P. (1950). *An Introduction to the Embryology of Angiosperms*. McGraw-Hill, Nueva York.
- Mahlberg, A. (1987). «Evidence of Collective Memory: A Test of Sheldrake's Theory.» *Journal of Analytical Psychology* 32, págs. 23-34.
- Manning, A. (1975). «Behaviour Genetics and the Study of Behavioural Evolution.» En *Function and Evolution in Behaviour* (eds. G.P. Bae-rends, C. Beer y A. Manning). Oxford University Press, Oxford.
- Marais, E. (1971). *The Soul of the White Ant*. Cape and Blond, Londres.

- Marshall, N. (1960). «ESP and Memory: A Physical Theory.» *British Journal for the Philosophy of Science* 10, págs. 265-286.
- Masters, M.T. (1869). *Vegetable Teratology*. Ray Society, Londres.
- Mayr, E. (1963) *Animal Species and Evolution*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. [Versión en castellano: *Especies animales y evolución*. Barcelona: Editorial Ariel, 1968.]
- McDougall, W. (1927). «An Experiment for the Testing of the Hypothesis of Lamarck.» *British Journal of Psychology* 17, págs. 267-304.
- , (1930). «Second Report on a Lamarckian Experiment.» *British Journal of Psychology* 20, págs. 201-218.
- , (1938). «Fourth Report on a Lamarckian Experiment.» *British Journal of Psychology* 28, págs. 321-345.
- Medawar, P.B. (1968). *The Art of the Soluble*. Methuen, Londres. [Versión en castellano: *El arte de lo soluble*. Caracas: Monte Ávila Editores, 1969.]
- Medvedev, Z.A. (1969). *The Rise and Fall of T.D. Lysenko*. Columbia University Press, Nueva York.
- Meinhardt, H. (1978). «Space-dependent Cell Determination Under the Control of a Morphogen Gradient.» *Journal of Theoretical Biology* 74, págs. 307-321.
- Monod, J. (1972). *Chance and Necessity*. Collins, Londres. [Versión en castellano: *El azar y la necesidad*. Barcelona: Tusquets Editores, 1989.]
- Morata, G., y Lawrence, P.A. (1977) «Homoeotic Genes, Compartments and Cell Determination in *Drosophila*.» *Nature* 265, págs. 211-216
- Murphy, G.G., y Glanzman, D.L. (1996). «Enhancement of Sensorimotor Connections by Conditioning-related Stimulation in *Aplysia* Depends upon Postsynaptic Ca^{2+} » *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 93, págs. 9931-9936.
- Needham, J. (1942). *Biochemistry and Morphogenesis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Neisser, U. (1995). *Intelligence: Knowns and Unknowns*. American Psychological Association, Washington, DC.
- Nemethy, G., y Scheraga, H.A. (1977). «Protein Folding.» *Quarterly Review of Biophysics* 10, págs. 239-352.
- Nicolis, G., y Prigogine, I. (1977). *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. Wiley-Interscience, Nueva York.
- Olsen, M.V., y Varki, A. (2004). «The Chimpanzee Genome. A Bittersweet Celebration.» *Science* 305, págs. 191-192.
- Parsons, P.A., (1967). *The Genetic Analysis of Behaviour*. Methuen, Londres.
- Pauen, M. Staudacher, A., y Walter, S. (2006). «Epiphenomenalism: Dead End or Way out?» *Journal of Consciousness Studies* 13, págs. 7-19.

- Pauling, L. (1960). *The Nature of the Chemical Bond* (3ª edición). Cornell University Press, Ithaca. [Versión en castellano: *Uniones químicas y la estructura de moléculas y cristales*. Buenos Aires: Kapelusz Editora, 1960.]
- Pearson, K. (1924). *Life of Francis Galton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pecher, C. (1939). «La fluctuation d'excitabilité de la fibre nerveuse.» *Archives Internationales de Physiologie* 49, págs. 129-152.
- Penrose, R. (1989). *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and the Laws of Physics*. Oxford University Press, Oxford. [Versión en castellano: *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Editorial Grijalbo, 1991.]
- Penzig, O. (1921-2). *Pflanzen-Teratologie*. Borntraeger, Berlín.
- Pickett-Heaps, J.D. (1969). «The Evolution of the Mitotic Apparatus.» *Cytobios* 3, págs. 257-280.
- , (1975). *Green Algae*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Polanyi, M. (1958). *Personal Knowledge*. Routledge and Kegan Paul, Londres.
- Popper, K.R. (1965). *Conjectures and Refutations*. Routledge and Kegan Paul, Londres. [Versión en castellano: *Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1967.]
- , (1967). «Quantum mechanics without "the observer".» En M. Bunge (ed.) *Quantum Theory and Reality*. Springer Verlag, Berlín.
- , y Eccles, J.C. (1977). *The Self and its Brain*. Springer International, Berlín. [Versión en castellano: *El yo y su cerebro*. Barcelona: Editorial Labor, 1980.]
- Pribram, K.H. (1971). *Languages of the Brain*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Purseglove, J.W. (1968). *Tropical Crops: Dicotyledons*. Longmans, Londres.
- Radin, D. (2006). *Entangled Minds: Extrasensory Experiences in a Quantum Reality*. Pocket Books, Nueva York.
- Radin, R. (1997). *The Conscious Universe: The Scientific Truth of Psychic Phenomena*, Harper, San Francisco.
- Rao, K.R. (1977). «On the Nature of Psi.» *Journal of Parapsychology* 41, págs. 294-351.
- Rapp, P.E. (1979). «An Atlas of Cellular Oscillations.» *Journal of Experimental Biology* 81, págs. 281-306.
- Raven, P.H., Evert, R.F., y Curtis, H. (1976). *Biology of Plants*. Worth Publishers, Inc., Nueva York.
- Rensch, B. (1959). *Evolution Above the Species Level*. Methuen, Londres.

- Rhine, J.B., y McDougall, W. (1933). «Third Report on a Lamarckian Experiment.» *British Journal of Psychology* 24, págs. 213-235.
- Ricard, M. (1969). *The Mystery of Animal Migration*. Constable, Londres.
- Riedi, R. (1978). *Order in Living Organisms*. Wiley-Interscience, Chichester y Nueva York.
- Rignano, E. (1926). *Biological Memory*. Harcourt, Brace and Co., Nueva York.
- Roberts, K., y Hyams, J.S. (eds.) (1979). *Microtubules*. Academic Press, Londres.
- Roblin, G. (1970). «*Mimosa Pudica*: A Model for the Study of the Excitability in Plants.» *Biological Reviews* 54, págs. 135-153.
- Roll-Hansen, N. (2005). *The Lysenko Effect: The Politics of Science*. Humanity Books, Amherst, Nueva York.
- Rose, R. (1992). «So-called "Formative Causation": A Hypothesis Disconfirmed.» *Biology Forum* 85, págs. 444-453.
- Russell, B. (1921). *Analysis of Mind*. Allen y Unwin, Londres. [Versión en castellano: *Análisis del espíritu*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1958.]
- Russell, E.S. (1945). *The Directiveness of Organic Activities*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ruyer, R. (1974). *La Gnose de Princeton*. Fayard, París. [Versión en castellano: *La gnosis de Princeton*. Madrid: Editorial Eyras, 1985.]
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. Hutchinson, Londres. [Versión en castellano: *El concepto de lo mental*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 2005.]
- Sanderson, K. (2007). «Model Predicts Structure of Crystals.» *Nature* 450, pág. 771.
- Satter, R.L. (1979). «Leaf Movements Tendril Curling.» En *Encyclopedia of Plant Physiology* (eds. A. Pirson y M.H. Zimmermann), New Series Vol. 7, págs. 442-484. Springer-Verlag, Berlín.
- Schopenhauer, A. (1883). *The World as Will and Idea*, Libro 1, Sección 7. Kegan Paul, Londres. [Versión en castellano: *El mundo como voluntad y representación*. Madrid: Editorial Aguilar, 1928.]
- Schorn, R. Tappeiner, G., y Walde, J. (2006). «Analysing "Spooky" Action at a Distance with Concerning Brand Logos.» *Innovative Marketing* 1, págs. 45-60.
- Schwartz, G. (1997). «Morphische Resonanz und systematisches Gedächtnis. Die Yale-Arizona Hebräisch-Studien.» En Dürr, H.P., y Gottwald, F-T. (eds.) (1997). *Rupert Sheldrake in der Diskussion*. Scherz Verlag, Berna.
- Sebrell, W.H., y Harris, R.S. (1972). *The Vitamins*. Volumen V (2ª edición). Academic Press, Nueva York.

- Semon, R. (1912). *Das Problem der Verebung Erworbenener Eigenschaften*. Engelmann, Leipzig.
- , (1921). *The Mneme*. Allen y Unwin, Londres.
- Serra, J.A. (1966). *Modern Genetics* Vol. II, págs. 269-270. Academic Press, Londres.
- Sheldrake, A.R. (1973). «The Production of Hormones in Higher Plants.» *Biological Reviews* 48, págs. 509-559.
- , (1974). «The Ageing, Growth and Death of Cells.» *Nature* 250, págs. 381-385.
- , (1980a). «Three Approaches to Biology. I. The Mechanistic Theory of Life.» *Theoria to Theory* 14, págs. 125-144.
- , (1980b). «Three Approaches to Biology. II. Vitalism.» *Theoria to Theory* 14, págs. 227-240.
- , (1981). «Three Approaches to Biology. III. Organicism.» *Theoria to Theory* 14, págs. 301-311.
- Sheldrake, R (1983). «Formative Causation: The Hypothesis Supported.» *New Scientist*, 27 de octubre.
- , (1985). *A New Science of Life: The Hypothesis of Formative Causation* (2ª edición). Blond, Londres.
- , (1988a). *The Presence of the Past*. Times Books, New York. [Versión en castellano: *La presencia del pasado: resonancia mórfica y hábitos en la naturaleza*. Barcelona: Editorial Kairós, 1991.]
- , (1988b). «Cattle Fooled by Phoney Grids.» *New Scientist*, febrero, 11.
- , (1989). «Morphic Resonance in Silicon Chips.» *Skeptical Inquirer*, invierno, págs. 203-204.
- , (1992a). «An Experimental Test of the Hypothesis of Formative Causation.» *Biology Forum* 85, págs. 431-443.
- , (1992b). «Rose refuted.» *Biology Forum* 85, págs. 455-460.
- , (1994). *Seven Experiments that Could Change the World: A Do-It-Yourself Guide to Revolutionary Science*. Fourth Estate, Londres. [Versión en castellano: *Siete experimentos que pueden cambiar el mundo*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 1995.]
- , (1999). *Dogs That Know When Their Owners Are Coming Home, And Other Unexplained Powers of Animals*. Hutchinson, Londres. [Versión en castellano: *De perros que saben que sus amos están camino de casa: y otras facultades inexplicadas de los animales*. Barcelona: Editorial Paidós Ibérica, 2001.]
- , (2002). «Are Melting Points Constant?» *Skeptical Inquirer* septiembre/octubre, págs. 40-41.

- , (2003a). *The Sense of Being Stared At, And Other Aspects of the Extended Mind*. Crown, Nueva York. [Versión en castellano: *El séptimo sentido: la mente extendida*. Málaga: Vesica Piscis, 2005.]
- , (2003b). «Set Them Free.» *New Scientist*, abril, pág. 19.
- , (2004). «Public Participation: Let the People Pick Projects.» *Nature*, 432, pág. 271.
- , y Bohm, D. (1982). «Morphogenetic Fields and the Implicate Order.» *ReVision* 5, págs. 41-48.
- Siegelman, H.W. (1968). «Phytochrome.» En *Physiology of Plant Growth and Development* (ed. M.B. Wilkins). McGraw-Hill, Londres.
- Sinnot, E.W. (1963). *The Problem of Organic Form*. Yale University Press, New Haven.
- Skinner, B.F. (1938). *The Behavior of Organisms*. Appleton Century, Nueva York. [Versión en castellano: *La conducta de los organismos: un análisis experimental*. Barcelona: Editorial Fontanella, 1975.]
- Sleigh, M.A. (1968). «Co-ordination of the Rhythm of Beat in Some Ciliary Systems.» *International Review of Cytology* 25, págs. 31-54.
- Snoad, B. (1974). «A Preliminary Assessment of "Leafless Peas".» *Euphytica* 23, págs. 257-265.
- Spear, N.E. (1978). *The Processing of Memories*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, Nueva Jersey.
- Stanley, S.M. (1981). *Macroevolution: Pattern and Process*. W.H. Freeman, San Francisco.
- Stapp, H. (2007). «Quantum Mechanical Theories of Consciousness.» En Velmans, M., y Schneider, S. (2007) *The Blackwell Companion to Consciousness*. Blackwell, Oxford.
- Stebbins, G.L. (1974). *Flowering Plants: Evolution Above the Species Level*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- , y Basile, D.V. (1986). «Phyletic Phenocopies.» *Evolution* 40, págs. 422-425.
- Stevens, C.F. (1977). «Study of Membrane Permeability Changes by Fluctuation Analysis.» *Nature* 270, págs. 391-396.
- Street, H.E., y Henshaw, G.G. (1965). «Introduction and Methods Employed in Plant Tissue Culture.» En *Cells and Tissues in Culture* (ed. E.N. Willmer) Vol. 3, págs. 459-532. Academic Press, Londres.
- Suppes, P. (1970). *A Probabilistic Theory of Causality*. North Holland, Ámsterdam.
- Taylor, J.G. y Balanovski, E. (1979). «Is there any Scientific Explanation of the Paranormal?» *Nature* 279, págs. 631-633.
- Thom, R. (1975a). *Structural Stability and Morphogenesis*. Benjamin,

- Reading, Massachusetts. [Versión en castellano: *Estabilidad estructural y morfogénesis*. Barcelona: Editorial Gedisa, 1987.]
- , (1975b). «D'un modèle de la science à une science des modèles». *Synthèse* 31, págs. 359-374.
- , (1983). *Mathematical Models of Morphogenesis*. Wiley, Nueva York.
- Thompson, D'Arcy W. (1942). *On Growth and Form*. Cambridge University Press, Cambridge. [Versión en castellano: *Sobre el crecimiento y la forma*. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1980.]
- Thorpe, W.H. (1963). *Learning and Instinct in Animals* (segunda edición). Methuen, Londres.
- , (1978). *Purpose in a World of Chance*. Oxford University Press, Oxford.
- Thouless, R.H. (1972). *From Anecdote to Experiment in Psychological Research*. Routledge y Kegan Paul, Londres.
- Tinbergen, N. (1951). *The Study of Instinct*. Oxford University Press, Oxford. [Versión en castellano: *El estudio del instinto*. México D.F.: Siglo XXI Editores, 1969.]
- Townsend, C., Ketterle, W., y Stringari, S. (1997). «Bose-Einstein Condensation.» *Physics World*, marzo, pág. 1.
- Tratchman, P. (2000). «Redefining robots.» *Smithsonian Magazine* febrero, págs. 97-112.
- Van Genderen, M., Koene, B., y Niehuys, J.W. (2002a). «Sheldrake's Crystals.» *Skeptical Inquirer* octubre/noviembre, págs. 35-40.
- , (2002b). «A Last Reply to Sheldrake.» *Skeptical Inquirer* octubre/noviembre, pág. 41.
- Varela, F., Thompson, E., y Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. [Versión en castellano: *De cuerpo presente: las ciencias cognitivas y la experiencia humana*. Barcelona: Editorial Gedisa, 1992.]
- Varela F.C., y Letelier, J. (1988). «Morphic Resonance in Silicon Chips.» *Skeptical Inquirer*, primavera, págs. 298-300.
- Venter, C. (2007). *A Life Decoded*. Allen Lane, Londres.
- Verveen, A.A., y De Felice, L.J. (1974). «Membrane Noise.» *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 28, págs. 189-265.
- Vines, G. (1998). «Hidden Inheritance.» *New Scientist*, 28 de noviembre, págs. 27-30.
- Von Bertalanffy, L. (1933). *Modern Theories of Development*. Oxford University Press, Londres.
- , (1971). *General Systems Theory*. Allen Lane, Londres. [Versión en

- castellano: *Teoría general de sistemas: fundamentos, desarrollos, aplicaciones*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1976.]
- Von Frisch, K. (1975). *Animal Architecture*. Hutchinson, Londres.
- Waddington, C.H. (1957). *The Strategy of the Genes*. Allen y Unwin, Londres.
- , (1961). «Genetic Assimilation.» *Advances in Genetics* 10, págs. 257-292.
- , (ed.) (1969). *Towards a Theoretical Biology. 2.: Sketches*. Edinburgh University Press. Edimburgo. [Versión en castellano: *Hacia una biología teórica*. Madrid: Alianza Editorial, 1976.]
- , (1975). *The Evolution of an Evolutionist*. Edinburgh University Press, Edimburgo.
- Walker, E.H. (1975). «Foundations of Paraphysical and Parapsychological Phenomena.» En *Quantum Physics and Parapsychology* (ed. L. Otera). Parapsychology Foundation, Nueva York.
- Wardlaw, C.W. (1965). *Organization and Evolution in Plants*. Longmans, Londres.
- Watson, J.B. (1924). *Behaviorism*. Chicago University Press, Chicago. [Versión en castellano: *El conductismo*. Buenos Aires: Editorial Paidós, 1955.]
- Weiss, P. (1939). *Principles of Development*. Holt, Nueva York.
- Whitehead, A.N. (1928). *Science and the Modern World*. Cambridge University Press, Cambridge. [Versión en castellano: *La ciencia y el mundo moderno*. Buenos Aires: Editorial Losada, 1949.]
- Whiteman, J.H.M. (1977). «Parapsychology and Physics.» En Wolman (ed.) (1977).
- Whyte, L.L. (1949). *The Unitary Principle in Physics and Biology*. Cresset Press, Londres.
- Wigglesworth, V.B. (1964). *The Life of Insects*. Weidenfeld and Nicolson, Londres. [Versión en castellano: *Vida de los insectos*. Barcelona: Ediciones Destino, 1974.]
- Wigner, E. (1961). «Remarks on the Mind-body Question.» En *The Scientist Speculates* (ed. I.J. Good). Heinemann, Londres.
- , (1969). «Epistemology in Quantum Mechanics.» En *Contemporary Physics: Trieste Symposium 1968*. Vol. II, págs. 431-438. International Atomic Energy Authority, Viena.
- Williams, R.J.P. (1979). «The Conformational Properties of Proteins in Solution.» *Biological Reviews* 54, págs. 389-437.
- Willis, J.C. (1940). *The Course of Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.

-
- Willmer, E.N. (1970). *Cytology and Evolution* (segunda edición). Academic Press, Londres.
- Wilson, E.O. (1975). *Sociobiology: The New Synthesis*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. [Versión en castellano: *Sociobiología*. Barcelona: Ediciones Omega, 1980.]
- Wolff, G. (1902). *Mechanismus und Vitalismus*. Leipzig.
- Wolman, B.B. (ed.) (1977). *Handbook of Parapsychology*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- Wolpert, L. (1978). «Pattern Formation in Biological Development.» *Scientific American* 239 (4), págs. 154-164.
- Woodard, G.D., y Microne, W.C. (1975). «Unusual Crystallization Behavior.» *Journal of Applied Crystallography* 8, pág. 342.
- Woodger, J.H. (1929). *Biological Principles*. Kegan Paul, Trench, Trubner & Co., Londres.

ÍNDICE

- Abraham, Ralph, 377
acción fija, pautas de, 266-270,
279-282, 295
acetilsalicílico, ácido, 321-322
adaptaciones hereditarias, 205-207
adaptativa, información, 331
ADN,
función desconocida del,
230-231
papel del, 68-73, 77, 189-190
programas genéticos y, 50, 53,
279, 282, 291
adrenalina, 250, 319
Agar, Wilfred, 288-289, 291, 417n.
Aharonov, Yakir, 381
Aharonov-Bohm, efecto, 381
akáshicos, archivos, 396
alambre de espinos, 345-346
alayavijnana, 396
Aldrich, catálogo, 319
algarrobo, 335
algoritmos pseudoazarosos, 373
alimentación, 248-254, 296
alotropos, 324
ambientales, factores,
gérmenes morfogenéticos y,
192-193, 225-227
morfogénesis y, 192-193, 196-
197, 203-205
ameboidal, movimiento, 240-242,
415n.
anagramas, 351-352, 366-367
analógicos, ordenadores, 377
Anfinsen, Christian B., 120,
136
apetitiva, conducta, 266, 295
aprendizaje,
categorías generales del,
270-276
causación formativa y, 271-
272, 282-284, 289-290
experimentos sobre el,
282-291
resonancia mórfica y, 263-265,
271, 298-299
sistema nervioso y, 263-265
social, 342-343
tendencias innatas hacia el,
276-278, 293, 298-299
aragonita, 167, 324-326
Aristóteles, 102, 150
aristotelismo, 409n.
ARN, 69-71, 77-78, 145
arquetípicas, formas, 60, 102, 165,
386-387
Ashby, William Ross, 377
aspirina, 321-322
atavismo, 230
átomos,
campos morfogenéticos de,
123, 131-133, 136-137,
139, 182

- combinaciones de, 104-105,
 109-113
 como organismos, 38
 autoorganización, 77-78, 89
 autorregulación, 221, 253, 257
 auxina, 74-75, 237
 aversión, 338-343
- Baldwin, efecto, 206, 292
 Bannister, Roger, 318
 Bedechek, Roy, 345-346
 Bergson, Henri, 310, 414n., 419n.
 Big Bang, teoría del, 13
 biología, 46-63
 biotecnología, 16-18
 Blair, Tony, 17
 Bohm, David, 13, 22-23,
 381-402
 Bonner, John Tyler, 55
 Bose, Satyendranath, 315
 Bose-Einstein, condensado,
 314-315
 Burr, Harold S., 409n.
 Bush, George W.H., 14
- caballos, 345-346
 calcio, carbonato de, 167, 324
 calcita, 167, 324-326
 calor, tolerancia al, 329-330
 campo, concepto de, 90-91,
 103-104
 canalización del desarrollo, 93-94,
 179, 210
véase también creoda(s)
 canciones de cuna, 350-351
 Carrington, Whately, 87
 catalizadores, 82, 132
 catástrofe, teoría de la, 98
 causación,
 consciente, 308-311
 energética, 121-122, 142, 150,
 409n.
 transtemporal, 149-152, 182
 causación formativa, hipótesis de la,
 aprendizaje e, 271-272, 282-
 284, 289-290
 átomos e, 136-138, 181-183
 causación energética e, 121-
 125, 183-184, 409n.
 condiciones medioambientales
 e, 203-204
 conducta e, 235, 258, 279,
 282, 292
 conexión causal e, 152-153
 control de movimientos e,
 235-259, 261-278,
 279-299
 creoda e, 184, 225
 cristalización e, 165-166, 190
 dominancia e, 201
 dualismo e, 181-182
 estímulos signo e, 269
 experimentos sobre la, 165-
 171, 201-205, 282-291,
 299, 313-314
 hábitos e, 262-263, 265
 herencia e, 190, 197, 208, 231
 leyes físicas e, 149-150
 materialismo e, 42, 138, 165-
 166, 302-304
 metafísica e, 185, 301-302
 morfogénesis e, 121-125, 127-
 147, 173-187, 197
 nuevas formas e, 185, 165-
 166, 233
 orden implicado e, 381-402
 repetición de las formas e,
 149-152, 185, 187
 resonancia mórfica e, 149-171,
 184-186

- resumen de la, 183-187
universo creativo e, 185,
309-311
yo consciente e, 305-309
celulares, cultivos, 326-333
células,
campos morfogénéticos de las,
121-125, 143-146
diferenciación de las, 71,
144-145
división de las, 141-146, 173
cerebro,
campos motores y, 303-304
daño en el, 264-265
escáner del, 14
eventos probabilísticos en el,
86, 246, 248, 306-307
cero absoluto, 314
Chalmers, David, 58-59
Chapman, Geraldine, 353
chimpancé, genoma del, 17-18
chinos, caracteres, 358
CI (cociente de inteligencia),
368-370
cibernética, 377
científicas, hipótesis,
metafísica y, 150, 219, 301-302
ciliados, 242-245
cirflica, caligrafía, 357
Clinton, William, 16-17
cocaína, 321-322
cognitiva, psicología, 57-58
colectivo, inconsciente, 59-60
Collins, Francis, 17
coloides, 141
conciencia, 58-59, 304-311
condicionada, aversión, 338-343
condicionamiento operante,
275-276
conducta,
causación formativa y, 235,
258, 279, 282, 292
entelequia y, 84-86
evolución de la, 291-295
herencia de la, 49-50, 59-60,
279-295
humana, 56-60, 295-299
instintiva, 265-267
inteligente, 52, 257-259, 275-
276, 293
morfogénética, 258
problemas de la, 51-53
social, 252, 297-299
teoría matemática de la, 92-93
conductismo, 57, 275
conductuales, campos, 249, 253-
246, 261, 267
consumatorios, actos, 266, 295-296
cortisona, 320
cósmica de fondo, radiación, 314
cósmica, memoria, 387-388, 396
creatividad, 151, 185, 234, 299
consciente, 304, 309-311
naturaleza y, 397-398
crecimiento,
campos morfogénéticos y,
177-178
mortalidad y, 174
de las plantas, 236-240
creoda(s),
aprendizaje y, 276
concepto de, 91-96, 129, 184,
382-383
control del movimiento y, 248,
252, 256-259
cultural, 298
divergencia de las, 221-224,
229
habilidades motoras y, 272-274
hábitos y, 261-262, 278

- instintos y, 261-270, 272, 278
 repetición de las, 227-230
 resonancia mórfica y, 162-164,
 184-185, 203, 210, 221
 supresión de las, 225-227
- Crew, Francis Albert E., 287-288,
 291, 417n.
- Crick, Francis, 404-405n.
- crisetales,
 campos morfogenéticos de los,
 123-124, 133-134, 138,
 165-171
 estructuras de los, 109-121,
 165-167
 como organismos, 38
 polimorfos, 116, 167-169,
 324-325
 transformación de los,
 324-326
- crystalización,
 morfogénesis biológica y, 78,
 89, 190
 de nuevos compuestos,
 165-168
 procesos probabilísticos de la,
 140
 punto de fusión y, 316-323
 semillas o núcleos y, 134,
 165-171
 termodinámica y, 107-110,
 140-141
- cromatina, 207
- cromosomas, 68, 82, 100, 145,
 189, 215-219
- crucigramas, 363-364
- cuántica, mecánica,
 campos morfogenéticos y, 21-
 25, 136-139
 entelequia y, 89
 estados mentales y, 61, 305
 estructuras químicas y, 104-
 105, 109-111
 parapsicología y, 61
 realidad y, 391-392
 variables ocultas en la, 89
- cuántico, campo de vacío, 24
 cuántico, entrelazamiento,
 330-331
 cuántico, potencial, 389
 cuántico, ruido, 376-377
 cuántico, teoría del campo, 104
- d'Espagnat, Bernard, 57
- Darwin, Charles, 27, 53-54, 223,
 334-335
- darwinismo, 53-55, 216
- Davidson, Nigel, 353
- Dawkins, Richard, 51, 297
- De Broglie, Louis, 394-395, 412n.
- década del cerebro, 14
- Descartes, René, 43
- desencadenantes, 267-270
- diamante, 324
- Dienes, Zoltan, 364-366
- digitales, ordenadores, 377-378
- diodo emisor de luz, 339-340
- disipativas, estructuras, 140
- dominancia genética, 198-202, 282
- Driesch, Hans, 47, 81-88, 90, 93-
 94, 102, 419n.
- Drosophila*, 19-20, 72, 193-194,
 208-213, 225, 229-230, 280
- dualismo,
 físico, 181-183, 413n.
 vitalismo y, 89
véase también interaccionismo
- Dürr, Hans-Peter, 22-23
- Eccles, John C., 86-87
- Eddington, Arthur, 86

- Einstein, Albert, 23, 104, 315, 330, 381, 413n.
- electromagnéticos, campos, 103-105, 122-123, 129, 189-192
campos morfogenéticos y, 183, 409n.
- embriones,
campos morfogenéticos y, 174-175, 178-179
centros de organización en los, 146
desarrollo de los, 66-67
regulación en los, 47-48, 83, 174-175
- energía,
conservación de la, 85, 97
forma y, 103-109, 181-183
- England, Monica, 363-364
- entelequia, 84-89, 93, 102
- entropía, 106-108
- envejecimiento, 412n.
- enzimas,
cambio de forma de las, 135
inducción y represión de las, 44-45, 69
papel catalizador de las, 44, 82, 132
- epifenomenalismo, 58
- epigenética, herencia, 207-211, 336-337
- epigenético, desarrollo, 46, 67, 100, 140-144
- epigenético, paisaje, 92, 162, 295
- Ertel, Suitbert, 353-356, 358, 366
- especies,
campos morfogenéticos de las, 197
resonancia mórfica y, 230-232, 294
- estabilidad de las formas, 106-121, 183-184
- estaño, 324
- estructura dentro de la forma, 119-122
- éter, 209-213
- eternos, objetos, 102
- etionina, 328
- etología, 266-267
- evitación, reacciones de, 249-250, 254-255, 268, 271, 275
- evolución,
de la conciencia, 309-311
de la conducta, 291-295
creatividad y, 234, 309-311
discontinuidades en la, 54, 218, 225-227
entropía y, 106-107
especies y, 230-232
factores desconocidos de la, 219
de las formas biológicas, 215-233
interpretaciones de la, 54, 215-219, 292
macro-, 54, 218
micro-, 54, 218
paralela, 219, 233
sin objetivo, 219, 233-234, 304
teoría neodarwiniana de la, 45, 54-55, 215-219, 292-293
- evolutiva del desarrollo, biología, 20, 70, 95
- familiares, semejanzas, 202-203
- Fassberg, Susan, 361-362
- fenoltaleína, 319
- fija, pautas de acción, 266-270, 279-282, 295

- física,
 campos morfogénicos y,
 21-25
 clásica, 85-86, 103-104
 entelequia y, 85-90
 factores cuantitativos de la, 97
 véase también cuántica,
 mecánica
- física, limitaciones de la visión,
 56-59
- físicas, constantes, 316
- físicas, leyes, 56-57, 60-61, 79-81
- fisiología, 43, 53, 82-83
- flagelados, 242-244
- fluctuaciones aleatorias, 79, 140-
 141, 190
- Flynn, efecto, 369-370
- Flynn, James, 369
- forma,
 causas de la, 97-125
 doctrina aristotélica de la, 102
 energía y, 103-109, 181-183
 estímulo signo y, 270
 influencia del pasado y,
 149-171
 mantenimiento y estabilidad
 de la, 179-181
 origen de la nueva, 41, 185,
 233-234, 301, 304, 309
 problema de la, 97-103
 repetición de la, 40-41, 149-
 152, 185
 virtual, 127, 129-136, 179-180
- formativa, causación; véase
 causación formativa, hipótesis
 de la
- formativo, campo, 382, 389-390,
 399
- fotografías compuestas, 158-160
- fotones virtuales, 24
- Friend, Ted, 347
- fusión, puntos de, 316-323, 419n.
- futuro, influencia causal del,
 155-156
- Gaia, hipótesis, 27
- Galileo Galilei, 33
- Galton, Francis, 159, 160
- gen egoísta, 51
- genes,
 activación y desactivación de
 los, 44-45, 68-71
 entelequia y, 84
 herencia y, 189-192, 215-219
 naturaleza química de los, 68-
 69, 81-82
 recombinación de los, 216
 redundantes, 231
- genética de población, 215-219, 292
- genética y herencia, 189-192, 205-
 208, 279-282
- genético, algoritmo, 374-376
- genéticos, programas, 49-53, 279,
 282, 291-292
 como factores vitales, 50-51
- Genoma del Chimpancé, Proyecto
 del, 17-18
- Genoma Humano, Proyecto del,
 15-18, 20
- genómica, impronta, 207
- genotipo, 405n.
- Gentle, Richard, 350
- gestalt, psicología, 90
- Gilbert, Scott, 95-96
- Gilbert, Walter, 15
- Goebel, Karl von, 226
- Goldschmidt, Richard, 212
- Goodwin, Brian, 94, 384, 387
- gradientes, 71, 76
- gradual, inflación, 371

- grafito, 324
 granjeros, 347
 gravitación, 103
 gravitatorios, campos, 103-104,
 122-123, 127, 236-237
 guardaganado, 346-348
 guisantes, cosecha de, 336
 Gurwitsch, Alexander, 90
- hábitos,
 instintos y, 261-265
 memoria y, 262-264
 habituación, 262-263, 271
 hámster, celda del, 327-328
 Hardy, Alister, 88
 Heisenberg, Werner, 86
 helio-4, 315
 herencia,
 aprendizaje y, 297-298
 de los caracteres adquiridos,
 205-208, 221-224
 causación formativa y, 190,
 197, 208, 231
 de la conducta, 49-50, 59-60,
 279-295
 de la forma, 189-213
 de los instintos, 261-262, 265-
 267, 291-295
 resonancia mórfica y, 190-191
 herrerillos, 344-345
 Hesse, Mary B., 153
 híbridos,
 campos morfogénéticos de los,
 198-202
 campos motores de los, 281-
 282, 293-294
 Hill, Miroslav, 326-333
 hiragana, caligrafía, 353-356
 Ho, Mae-wan, 210-211
 Hocking, Gwyn, 419n
- Holden, Alan, 167-168
 hologramas 83-84, 265
 holón, 409n.
 homeobox, genes, 19-20, 45, 70
 Horgan, John, 34, 370
 humana, memoria colectiva,
 349-358
 Humphrey, Nicholas, 359
 Huxley, Thomas Henry, 43
 Hyslop, Alex, 58
- imagen oculta, 359-363
 imanes, 91, 129
 incertidumbre, principio de, 86
 información, teoría de la, 99-100
 iniciación, proceso de, 298
 innatos, mecanismos liberadores,
 267-270
 inspiración, 310
 instintos,
 características de los, 265-267
 creodas e, 261-270, 272, 278
 hábitos e, 262-264
 herencia de los, 261-262, 265-
 267, 291-295
 jerarquía de los, 265-267
 memoria e, 261-265, 407n.
 inteligencia artificial, 14
 inteligencia, cociente de, 368-370
 interaccionismo, 57-61, 87, 305,
 308-311, 411n.
 internet, 28
 introyección, 393-394
- Jennings, Herbert S., 241
 jerárquicos, sistemas, 85, 124-125,
 186, 265-267
 Josephson, Brian, 32-33
 Juan Pablo II, papa, 33
 Jung, Carl G., 59-60

- Kaluza-Klein, teoría de, 24
 Kammerer, Paul, 207
 Koestler, Arthur, 409n.
 Köhler, Wolfgang, 275
 Kozak, John, 375-376
 Krstic, Radivaj V., 247
- Lagrange, ley de, 382
 lamarkiana, herencia, 205-208,
 282-285, 289
 Lashley, Karl S., 264
 led (diodo), 339-340
 lenguaje, 92, 308-309
 leyes físicas, 56-57, 60-61, 79-81
 libre albedrío, 303, 309
 Liebig, Justus von, 81
 lípidas, membranas, 44, 78, 141
 litio, cloruro de, 339
 Lovelock, James, 27
 Lysenko, Trofim D., 207, 335
- M, teoría, 24
 Mackie, John L., 152
 Mackinnon, Doris L., 243
 Maddox, John, 32-33, 115-116
 magnéticos, campos, 91, 129
 Mahayana, budismo, 396
 Mahlberg, Arden, 353
 maíz, 335
 masa, conservación de la, 97
 Masters, Maxwell T., 228
 matemático, misticismo, 101
 matemáticos, modelos, 92-93, 98,
 101
 en la genética de poblaciones,
 292
 materia, naturaleza de la, 123-124,
 180, 302-303
 materiales, campos, 104
 y campos morfogenéticos, 180
- materialismo, 56, 58, 219, 302-
 303, 308
 modificado, 302-305, 308,
 418n.
 McDougall, William, 284-291,
 417n.
 mecanicista, teoría,
 biología y, 37
 de la conducta, 282, 291-292
 corroborabilidad de la, 79-81
 de la dominancia, 199-200
 filosofía materialista y, 219,
 301-302
 limitaciones de la, 14-20, 50-
 51, 54-56, 62, 79-81
 de la memoria, 264-265
 de la morfogénesis, 68-81, 190
 parapsicología y, 60-61, 304
 psicología y, 57-60
 química y, 110
 relatos modernos de la, 43-46
 versión sofisticada de la, 95
 de la vida, 37-38
 membranas celulares, 78-79, 141,
 200, 245-247
 meme, 297
 memoria,
 a corto plazo, 274
 colectiva humana, 349-358
 instinto y, 261-265, 407n.
 resonancia mórfica y, 250,
 261-265, 271, 302-304
 teoría mecanicista de la,
 264-265
 tipos de, 307
 trazas de la, 265
 Mendel, Gregor, 205
 Mendel, leyes de, 53
 mente y cuerpo, 45, 58, 89,
 302-311

- metafísicas, teorías, 219, 301
 metilación del ADN, 207
 microtúbulos, 78, 142-143, 243
 migraciones de aves, 51-52
 molecular, biología, 18-19, 43-44, 46, 83
 moléculas,
 campos morfogénéticos de las, 122-123, 131-136, 177
 como organismos, 38
 predicción de la estructura de las, 109-121
 representación de las, 98-99
 Monod, Jacques, 404-405n.
 monstruos, 218, 228
 mórfica, resonancia, 21, 153-171
 analogía con la radio, 190-192, 198, 204, 281, 387-388
 aprendizaje y, 263-265, 271, 298-299
 campos morfogénéticos y, 155, 162-173, 186
 campos motores y, 248-249, 252-253
 causación formativa y, 149-171, 184-186
 creodas y, 162-164, 184-185, 203, 210, 221
 efectos ambientales y, 203-205
 espacio/tiempo y, 155-156, 184-185
 especificidad de la, 178-179, 203
 de los estados pasados, 180, 185, 261, 271, 278
 herencia de la conducta y, 261-265, 267-270, 279, 291-297
 herencia de la forma y, 189-209
 en híbridos, 198-202, 281-282, 293-294
 memoria y, 250, 261-265, 271, 302-304
 posible atenuación de la, 162-164
 promediado automático de la, 158, 161, 197, 269-271, 277-278
 pruebas experimentales de, 165-171, 201-205, 282-291, 314-379
 resonancia energética y, 153-155
 de sistemas del pasado, 154-171
 mórficas, unidades,
 definición de, 123-124, 181-182
 estabilidad de las, 179-181, 187
 holones y, 409n.
 nuevas, 166
 organización jerárquica de las, 137, 143-144
 oscilaciones dentro de las, 179
 tamaño de las, 177-178
 variabilidad de las, 155-162
 mórficos, campos, 21-25, 259, 297-298, 305
 morfogénesis,
 agregativa, 130-131, 134, 146
 biológica, 46-51, 62-63, 130, 140-144
 caminos alterados de la, 196-197
 caminos normales y, 189, 193-196
 causación formativa y, 121-125, 127-147, 173-187, 197

- definición de, 46
 descripción matemática de la,
 98-102
 química, 129-136
 repetitiva, 239, 242-244
 secuencial, 173-175
 teorías de la, 65-96
 transformadora, 130, 134-135,
 146
- morfogenéticos, campos,
 campos físicos y, 122-123,
 127-130
 campos motores y, 248-254
 concepto organizativo de los,
 39, 50, 53, 90-96
 estructuras de probabilidad y,
 136-139
 evolución de los, 197, 220
 física moderna y, 21-25
 gérmenes morfogenéticos y,
 127-147, 176, 182
 leyes físicas y, 150
 mecánica cuántica y, 21-25,
 136-139
 movimientos y, 235-244,
 248-250
 organización jerárquica de los,
 143, 186-187
 origen de los, 233-234
 papel causal de los, 39-40, 93-
 95, 102-103, 121-123,
 183-184
 polaridad de los, 175-177, 185
 regeneración y, 128, 180,
 183-184
 resonancia mórfica y, 155,
 162-173, 186
 secundarios, 174
 sucesión de los, 173-175, 184
 tamaño de los, 177-178, 186
- morfogenéticos, gérmenes,
 alteraciones de los, 192-196,
 225-228
 campos morfogenéticos y,
 127-147, 176, 182
 en la morfogénesis biológica,
 144-147, 173-175
 en la morfogénesis química,
 131-136
 oscilaciones dentro de los,
 154, 192, 195-196
 resonancia mórfica y, 161-162
- Morse, código, 353
- mortalidad, cesación del creci-
 miento y, 173-174
- mosca de la fruta; véase
Drosophila,
- motoras, habilidades, 272, 296
- motores, campos,
 campos morfogenéticos y,
 248-254
 causación consciente y, 309-311
 estructuras de probabilidad y,
 256
 estructuras germinales de los,
 231, 248-253, 267, 281
 evolución de los, 294-295
 hábitos y, 261-265
 herencia de los, 281-282, 292,
 296-297
 instintos y, 262-267
 organización jerárquica de los,
 248-249, 256
 origen de los, 274-276, 281
 secuencias de, 248-254
 sentidos y, 254-256
- movimiento(s),
 ameboidal, 240-242
 campos morfogenéticos y,
 235-244, 248-250

- campos motores y, 248-259
de las estructuras especializadas, 242-244
estímulos sensoriales y, 256
de las plantas, 235-240
- muerte, 174
- múltiple, problema mínimo, 118
- mutaciones,
azarosas, 45, 54, 206, 220, 292
conductuales, 280
creodas y, 221-224
homeóticas, 192-193
macro-, 218
- mutilaciones, 206-208
- neodarwinismo, 45, 54-55, 215-219, 291-292, 335
- nervioso, impulso, 100, 235-236, 245-248
- nervioso, sistema,
aprendizaje y, 261-265
cambios dentro del, 263-264, 279-281
eventos probabilístico del, 245-248, 256
organización jerárquica del, 245-248
pautas espaciotemporales del, 88, 256, 263
- Newton, Isaac, 104
- nucleicos, ácido, 44, 65, 144-146
- nuevo campo, prueba de, 350
- objetivos,
computacionales, 50-51
conductuales, 258, 296-297
creodas y, 93-94
entelequia y, 84-85, 93
evolutivos, 47, 50-51, 93-94, 99
- onda-partícula, dualidad, 181, 413n.
- orbital electrónico, 105, 109, 181-183
- orden implicado, 22-23, 32-33, 381-402
- ordenadores, 46, 50, 57, 372-379
- organísmica, filosofía, 38-39, 102-103, 404n.
de la morfogénesis, 90-96
- órganos,
campos morfogenéticos de los, 143-144, 173-175
gérmes morfogenéticos de los, 192-196
- origen,
de las formas, 41, 185, 233-234, 301, 304, 309
de pautas de conducta, 52, 274-276, 304, 309-311
de la vida, 55-56, 62
- ovejas, 333, 347-349
- Owen, Adrian, 375-376
- Paabo, Svante, 17-18, 72
- palabras, 351-353, 365-367
- paradigma,
mecanicista, 37-38
organísmico, 38-39
- parapsicología, 60-61, 87, 304, 307, 418n.
- pasadas, acciones, 261-265, 279-299, 386-387
- pasadas, formas, 149-171
- "paso", 327
- Pauling, Linus, 110-111, 115-116
- pautas de formación, 73-90
- Pavlov, Ivan P., 273
- Pearson, Karl, 159, 160
- penicilina, 321-322

- perros, conducta de los, 52, 257, 273, 293
- Pickering, Alan, 352
- pitagórica, filosofía, 101-102, 166
- plantas,
movimientos de las, 235-240
tolerancia al calor de las, 333-337
- Platón, 102
- platónicas, formas, 102, 150, 152, 166
- polaridad, 175-177, 185, 237-239, 241
- polimorfos, cristales, 116, 167-169, 324-325
- pollos de un día, 339-340
- Popper, Karl, 38, 413n., 418n.
- posicional, información, 71, 76, 100
- potasio, nitrato de, 324
- Pribram, Karl, 265
- probabilidad, estructuras de, 136-139, 178, 186-187
control de los movimientos y, 236
en los híbridos, 198-202
sistemas pasados y, 158, 161
- probabilísticos, procesos, 61, 86, 136-137, 140-144
campos morfogenéticos y, 141-144, 186-187
en el sistema nervioso, 245-248, 256
- proteínas,
crisis de, 74-75
desarrollo de las, 77-78, 117-119, 135-136
estructura de las, 44-45, 70-72, 77-79, 117-121
síntesis y, 44-45, 69-77, 189
- psicología, 57-60, 62
- puzzle, imágenes, 359-363
- qualia, 59
- quarks, 399-400
- química, 80, 98, 109-121, 165-171
- quimioterapia, 338
- ratas, experimentos con, 41, 275, 284-291, 341-343
- Raven, Peter H., 243
- reflejos, 261-262, 272
condicionados, 273-274
- regeneración,
campos morfogenéticos y, 128, 180, 183-184
conductual, 256-259
entelequia y, 83-84
problema de la, 48-49, 67-68, 90-91
- regulación,
campos morfogenéticos y, 130
conductual, 53, 256-259, 272-274
creodas y, 91-96, 184
entelequia y, 83-84, 93
experimentos sobre, 47-48, 174-175
problema de la, 47, 67-68, 80-83, 90-92
- relatividad, teoría general de la, 23, 104
- repetición de formas y pautas, 40-41, 149-152, 185
- repetición, efecto de, 365
- reproducción, 49, 68, 84, 90-91, 173-174
campos motores de, 249-251, 296

- resonancia, 153-154, 178, 412n.
 ver también *mórfica*,
 resonancia
- reversión, 230
- riboflavina, 320
- ribosomas, 44, 78, 89
- Robbins, Kimberly, 357-358
- Roe, Chris, 357-358
- Rooke, Steven, 376-377
- Rose, Steven, 338-340
- rubidio, 315
- Ruyer, Raymond, 408n.
- sacarina, 319
- salicilina, 321-322
- Saylor, Charles P., 170
- Scheraga, Harold A., 120
- Schorn, Robert, 356-357
- Schrödinger, ecuación de, 105,
 110-111, 136, 186, 391
- Schwartz, Gary, 351-352
- selección natural,
 de los campos morfogenéticos,
 217-219
 en los campos motores,
 292-295
 en la teoría neodarwiniana,
 54-55
- sentidos y campos motores,
 254-256
- sensibilidad y movimiento, 235-236
- Sheldrake, Merlin, 371
- signo, estímulos, 267-270
- silicona, chips de, 373
- sinapsis, 245-247, 264
- Singer, Phylis, 167-168
- sintonización, 178
- Smuts, Jan C., 90
- social, aprendizaje, 342-343
- social, campo, 252, 257
- Spemann, Hans, 90
- subatómicas, partículas,
 campos de materia y, 104, 139
 como organismos, 38-39
- sueños, 306
- superátomos, 315
- supercuerdas, teoría de las, 24
- Tanikawa, Shuntaro, 350
- Tappeiner, Gottfried, 356-357
- Teilhard de Chardin, Pierre, 414n.
- tejidos,
 campos morfogenéticos de los,
 143-144
 gérmenes morfogenéticos de
 los, 146-147
- teleología, 51, 83
 véase también *objetivos*
- televisión, 359-362, 369
- teratología, 227-230
- termodinámica,
 del no equilibrio, 79, 140-141
 segunda ley de la, 79, 85, 106-
 108, 143
 tercera ley de la, 107
- Thom, René, 92-94, 98-99, 383,
 418n.
- Thompson, D'Arcy W., 223-225,
 410n.
- Tilden, Mark, 378
- tioguanina, 327-328
- trascendente, realidad, 311
- trigo de invierno, 335
- Vanessa polaris*, 213
- Vanessa urticae*, 213
- Varela, Francisco, 373
- variedades,
 campos morfogenéticos de las,
 198-205

- creodas de las, 203, 221-222
veneno, 341-343
Venter, Craig, 16-17
"vergüenza al señuelo", 341-343
viejo campo, prueba de, 350
virus, 44, 89
Vishnú, 396
vitales, factores, 45, 50, 53
 programas genéticos como, 51
vitalismo, 38, 62-63, 81-90, 419n.
vitamina B₂, 320
- Waddington, Conrad H., 91-94,
 208-210, 212, 222, 382-383,
 387, 407n.
- Walde, Janette, 356-357
warfarina, 341
Weber, Renée, 381-402
Weismann, August, 205-206
Weiss, Paul, 90
Whitehead, Alfred N., 39, 90,
 102
Wigner, Eugene P., 392
Wolff, Gustav, 49
yo consciente, 305-309
- Zener, diodo, 375-376
Zhabotinski, reacción de, 140
zinc, fosfuro de, 341

COMENTARIOS SOBRE EDICIONES
ANTERIORES DE *UNA NUEVA*
CIENCIA DE LA VIDA:

Éste es un libro cuyas implicaciones son tan importantes como la teoría de la evolución de Darwin.

Brain Mind Bulletin

Sheldrake es un excelente científico, un científico perteneciente a la misma especie de los que, en el pasado, descubrieron continentes y explicaron el mundo en sonetos.

New Scientist

Inmensamente provocador y estimulante.

Arthur Koestler

Éste es un libro cuyas implicaciones para la forma, la evolución, la memoria y la conducta biológica... son tan fascinantes como trascendentales y que pondrá patas arriba a gran parte de la ciencia ortodoxa.

Observer

Este libro proporciona una nueva forma de entender muchos fenómenos desconcertantes y, en el caso de verse confirmado, contribuirá muy positivamente a la unificación de las ciencias.

The Tablet

Un libro tan impresionante como sorprendente.

Punch

Sheldrake está haciendo magia en lugar de ciencia y, por ello, puede ser condenado del mismo modo y por la misma razón por la que el Papa condenó a Galileo. Lo suyo es una herejía.

Sir John Maddox, editor de *Nature*

Una interesantísima indagación científica sobre la naturaleza de la realidad biológica y física.

New Scientist

Un libro bien escrito, provocador y entretenido... La erudición que pone de manifiesto Sheldrake en esta obra incluye un excelente resumen de las creencias actuales en muchos campos de la ciencia de la vida. ¿Improbable? Sí, pero no tanto como Galileo.

Biologist

Libros de la importancia y elegancia del presente aparecen en contadas ocasiones. Quienes lean esta nueva edición de *Una nueva ciencia de la vida* pueden hacerlo con la satisfacción de estar asistiendo al desarrollo de una etapa fundamental de la historia de la ciencia. La importancia de la obra de Sheldrake no es menor a la revolución de Copérnico y a la revolución relativístico-cuántica de épocas anteriores.

Larry Dossey, M.D., autor de *Espacio, tiempo y medicina*

SOBRE EL AUTOR

El doctor Rupert Sheldrake es biólogo y autor de más de ochenta artículos científicos y de diez libros, incluidos el superventas *De perros que saben que sus amos están camino de casa*. Es miembro del cuerpo docente del Clare College, de Cambridge, e investigador de la Royal Society. Ha escrito en varios periódicos, como el *Guardian*, en el que tiene una columna mensual, y colabora en varias revistas, entre las que cabe destacar *New Scientist* y *Spectator*.

editorial **K**airós

Numancia, 117-121 • 08029 Barcelona • España
tel. 93 494 9490 • e-mail: info@editorialkairos.com

Puede recibir información sobre nuestros libros
y colecciones o hacer comentarios acerca
de nuestras temáticas en:

www.editorialkairos.com