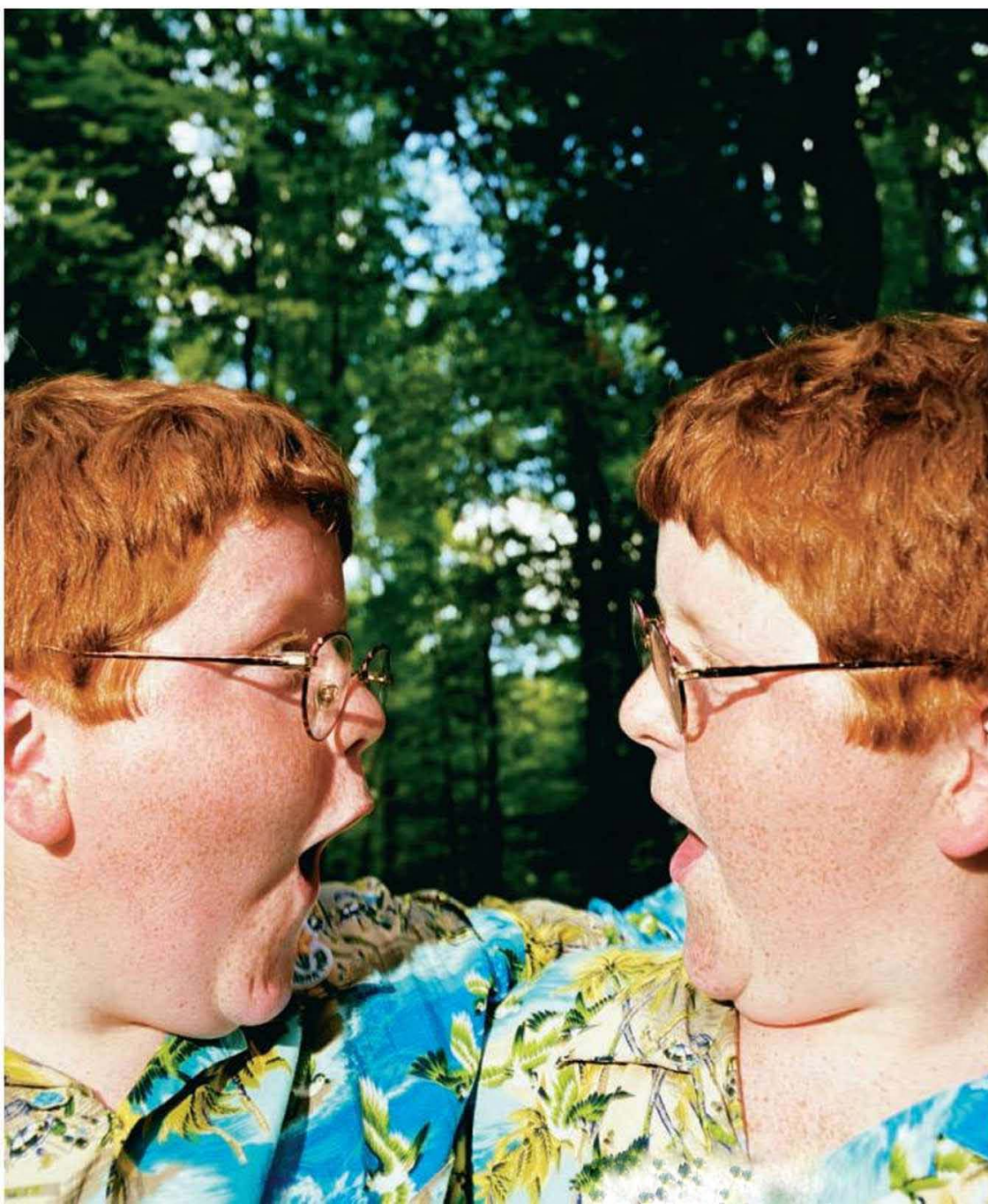


Evolución, genética y experiencia

Reflexiones acerca de la biología
de la conducta



- 2.1** Reflexiones acerca de la biología de la conducta: de las dicotomías a las relaciones e interacciones
- 2.2** Evolución humana
- 2.3** Fundamentos de genética
- 2.4** Evolución de la conducta: interacción de factores genéticos y experiencia
- 2.5** Genética de las diferencias psicológicas humanas

Todos tendemos a pensar del modo que nos ha sido inculcado por nuestro *Zeitgeist*¹, el clima intelectual general de nuestra cultura. Es por ello que este capítulo adquiere una especial importancia para el lector. Verá que es el producto intelectual de un *Zeitgeist* que

suscita un modo de pensar sobre las bases biológicas de la conducta que no concuerda con los hechos. El objetivo principal de este capítulo es ayudarle a que su pensamiento acerca de la biología de la conducta esté en consonancia con la ciencia psicobiológica actual.



2.1 Reflexiones acerca de la biología de la conducta: de las dicotomías a las relaciones e interacciones

Tendemos a no prestar atención a las sutilezas, incoherencias y complejidades de nuestra existencia, y a pensar en términos de simples dicotomías, mutuamente excluyentes: verdadero-falso, bueno-malo, atractivo-poco atractivo, etc. Lo que atrae de esta forma de pensar es su simplicidad.

Hay dos tipos de preguntas que se suelen hacer sobre la conducta, las cuales son un ejemplo de la tendencia a pensar en ella en términos de dicotomías: (1) ¿Es orgánico o psicógeno? (2) ¿Es heredado o aprendido? Se ha comprobado que ambas preguntas no están bien orientadas; sin embargo, figuran entre las que se hacen con más frecuencia en clase de biopsicología. Por eso aquí insistimos en ello.

¿Es orgánico o psicógeno?

La idea de que los procesos humanos caen dentro de una de dos categorías, orgánico o psicógeno, surgió en el siglo XVII de un conflicto entre la ciencia y la Iglesia Católica. Durante gran parte de la historia de la civilización occidental, la verdad era aquello que la Iglesia decretaba como tal. Después, en torno al año 1400, las cosas empezaron a cambiar. Las hambrunas, plagas y ejércitos saqueadores que azotaron repetidamente Europa durante la Edad Media amainaron y el interés se volvió hacia el arte, el comercio y la erudición —este fue el período del *Renacimiento* (de 1400 a 1700)—. Algunos eruditos renacentistas no estuvieron conformes con seguir los dictados de la Iglesia; en vez de ello empezaron a estudiar los hechos directamente, observándolos, y así surgió la ciencia moderna.

Gran parte del conocimiento científico que se acumuló durante el Renacimiento estaba en desacuerdo con los dogmas de la Iglesia. Pero el prominente filósofo francés René Descartes resolvió el conflicto. Descartes (1596-1650) propuso una filosofía que, en cierto sentido, asignaba una parte del universo a la ciencia y otra a la Iglesia. Argumentó que el universo se compone de dos elementos: (1) la materia física, que se comporta conforme a las leyes de la na-

turalidad y por lo tanto es un objetivo de estudio apropiado para la investigación científica, y (2) la mente humana (el alma, el yo o el espíritu), que carece de sustancia física, controla la conducta humana, no obedece a leyes naturales y por lo tanto es el terreno apropiado de la Iglesia. Se asumió que el organismo humano, incluyendo el cerebro, era algo totalmente físico, al igual que lo eran los animales.

El **dualismo cartesiano**, como se llegó a conocer a la filosofía de Descartes, fue tolerado por la Iglesia Católica, y así la idea de que el cerebro humano y la mente son entidades distintas fue aceptada por una gran mayoría. Pese a que han transcurrido siglos de avances científicos, ha persistido hasta nuestros días. La mayor parte de las personas entienden ahora que la conducta humana tiene una base fisiológica, pero muchos siguen aferrados al postulado dualista de que hay una clase de actividad humana que de algún modo va más allá del cerebro humano (Searle, 2000).

¿Es heredado o aprendido?

La tendencia a pensar en términos dicotómicos se extiende al modo de pensar acerca del desarrollo de las capacidades comportamentales. Durante siglos, los eruditos han discutido si los humanos y otros animales heredan sus capacidades comportamentales o las adquieren mediante aprendizaje. Habitualmente se hace referencia a esta discusión como el **debate herencia-ambiente** [o naturaleza-crianza].

La mayor parte de los primeros psicólogos experimentales norteamericanos eran acérrimos defensores del factor medio ambiente (aprendizaje) en el debate herencia-ambiente (de Waal, 1999). Esta cita tan frecuente de John B. Watson, el padre del *conductismo*, es un ejemplo del grado de dicho convencimiento:

No tenemos ninguna prueba auténtica de la herencia de los rasgos [comportamentales]. Tendría plena confianza en el pronóstico final favorable de un bebé sano, de buena constitución, educado con esmero, aunque descienda de una larga estirpe de pillos, asesinos ladrones y prostitutas. ¿Quién tiene alguna prueba de lo contrario?

... Denme una docena de niños sanos, de buena constitución, y mi propio mundo específico donde criarlos y les ga-

¹ Literalmente, espíritu de los tiempos (*N. del T.*).

rantizo que puedo tomar a cualquiera de ellos, al azar, y formarle para que llegue a ser un especialista en cualquier campo que yo elija: médico, abogado, artista, empresario o, sí, incluso mendigo o ladrón. (Watson, 1930, pp. 103-104)

Al mismo tiempo que la psicología experimental echaba raíces en Norteamérica, la **etología** (el estudio del comportamiento animal en el hábitat natural) se convertía en el enfoque dominante del estudio de la conducta en Europa. La etología europea, a diferencia de la psicología experimental norteamericana, se centró en el estudio de las **conductas instintivas** (conductas que presentan todos los miembros afines de una especie, incluso aunque parezca que no han tenido la posibilidad de aprenderlas) y resaltó el papel de lo innato, o los factores hereditarios, en el desarrollo de la conducta. Puesto que no parece que las conductas instintivas sean aprendidas, los primeros etólogos supusieron que eran por completo de carácter hereditario. Estaban equivocados, pero también lo estaban los primeros psicólogos experimentales.

Inconvenientes de pensar en la biología de la conducta en términos de las dicotomías tradicionales

La polémica orgánico frente a psicógeno y la de herencia frente a medio ambiente se basaban en modos de pensar incorrectos acerca de la biología de la conducta; un nuevo tipo de preguntas está dirigiendo el auge actual de la investigación biopsicológica (Churchland, 2002). ¿En qué consiste el error de estas antiguas formas de pensar sobre la biología de la conducta y cuál es el nuevo enfoque?

La idea orgánico o psicógeno se encuentra con problemas No mucho después de que la Iglesia Católica autorizara oficialmente el dualismo mente-cerebro de Descartes, comenzó a ser atacado por la opinión pública.

En 1747, Julien Offroy de la Mettrie publicó una nota anónima que escandalizó a Europa La Mettrie huyó a Berlín, donde se vio obligado a vivir en el exilio el resto de su vida. ¿Su delito? Había defendido que el pensamiento es un producto del cerebro —un agravio peligroso, para el modo de ver de sus coetáneos—. (Corsi, 1991, contraportada).

Hay dos tipos de pruebas en contra de la *idea orgánico o psicógeno* (psicógeno aquí se refiere a la suposición de que algunos aspectos de las funciones psicológicas humanas son tan complejos que no es posible que sean producto de un cerebro físico). El primer tipo está compuesto por las muchas evidencias de que incluso los cambios psicológicos más complejos (p.ej., cambios de la consciencia de sí

mismo, de la memoria o de la emoción) pueden estar causados por lesiones o por estimulación de partes del cerebro (véase Kosslyn y Andersen, 1992). El segundo tipo de pruebas está compuesto por las numerosas evidencias de que algunas especies no humanas tienen capacidades que en un principio se suponía que eran estrictamente psicológicas y, por lo tanto, estrictamente humanas (véanse Clayton, Bussey y Dickinson, 2003; Hauser, 2000). Los dos casos siguientes ilustran estos dos clases de pruebas. Ambos tratan de la consciencia de sí mismo, que en gran medida se considera el sello distintivo de la mente humana (véase Damasio, 1999).

El primer caso es el de «el hombre que se cayó de la cama», escrito por Oliver Sacks (1985). Éste —el paciente, no Sacks— padecía **asomatognosia**, una falta de consciencia de partes del propio cuerpo. La asomatognosia, por lo general, afecta a la parte izquierda del cuerpo y suele deberse a una lesión del **lóbulo parietal derecho** (véase la Figura 2.1). El segundo caso describe la investigación de G. G. Gallup (1983) sobre la existencia de consciencia de sí mismo en los chimpancés (véanse Parker, Mitchell y Boccia, 1994 y la Figura 2.2).

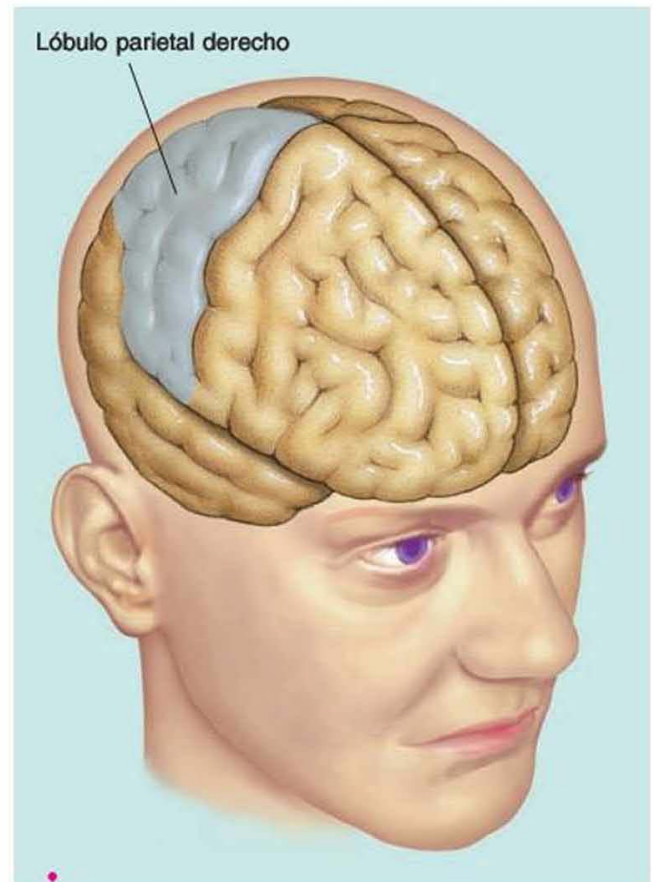


FIGURA 2.1 La asomatognosia suele deberse a una lesión del lóbulo parietal derecho.



FIGURA 2.2 Las reacciones de los chimpancés a su propia imagen indican que tienen conciencia de sí mismos. En esta foto se ve cómo reacciona el chimpancé ante una mancha de tinta roja brillante inodora que se le pintó en el arco de la ceja estando anestesiado. (Fotografía de Donna Bierschwale, cortesía del New Iberia Research Center.)

El caso del hombre que se cayó de la cama

Se sintió bien durante todo el día y se quedó dormido al anochecer. Cuando despertó también se sentía bien, hasta que se movió en la cama. Entonces encontró, como dijo, «la pierna de alguien» en la cama —una

Implicaciones clínicas

pierna humana amputada, algo horrible!—. Al principio se quedó atónito, sentía asombro y repugnancia... [Luego] se le ocurrió algo... Estaba claro que una de las enfermeras... había robado una pierna de la sala de operaciones y la había metido bajo las sábanas de su cama para gastarle una broma... *Cuando la tiró fuera de la cama, por alguna razón él se fue detrás —y ahora la tenía pegada a él—.*

«Mire eso!», gritó... «¿Ha visto alguna vez algo tan horripilante, tan horrible?»...

«¡Calma! le dije. 'Tranquilo, no se preocupe!»

«¿...Por qué...?» dijo irritado, agresivo.

«Porque es su pierna», le contesté. «¿No reconoce su propia pierna?»...

...«Ah, doctor!», dijo. «Me está engañando! Usted está compinchado con esa enfermera...»

«Escuche», le dije. «Creo que usted no se encuentra bien. Por favor, déjenos llevarle de nuevo a la cama. Pero quiero hacerle una última pregunta. Si esto —esta cosa— no es su pierna izquierda... ¿entonces, dónde está su pierna izquierda?»

Una vez más se puso pálido —tan pálido que creí que iba a desmayarse—. «No lo sé», dijo. «No tengo ni idea. Ha desaparecido. Se ha ido. No la encuentro por ninguna parte.»

(Reproducido con autorización de Simon & Schuster Adult Publishing Group de *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero y otros relatos dñicos*, por Oliver Sacks. Copyright 1970, 1981, 1983, 1984, 1985 por Oliver Sacks).

El caso de los chimpancés y el espejo

Un organismo es consciente de sí mismo en la medida en que puede mostrarse capaz de convertirse en objeto de su propia atención... Una de los modos de comprobar la capacidad de un organismo de convertirse en objeto de su propia atención es enfrentarle a un espejo.

...Puse delante de un espejo uno por uno a una serie de chimpancés adolescentes, criados en grupo... Invariablemente, su primera reacción ante el espejo fue responder como si estuvieran viendo a otro chimpancé... Sin embargo, al cabo de unos dos días,... empezaron a usar el espejo para acicalarse y explorar partes de su cuerpo que nunca habían visto antes y, paulatinamente, empezaron a hacer pruebas con el reflejo de su imagen haciendo muecas, mirándose de arriba abajo y adoptando posturas extrañas, mientras seguían los resultados en el espejo...

De modo que, en un intento de aportar una prueba más convincente de que se reconocían a sí mismos, diseñé una prueba con menor grado de intromisión y más rigurosa... Se anestesió a los chimpancés... les pinté con cuidado por encima del arco de una ceja y la mitad superior de la oreja opuesta con una tinta de color rojo brillante, soluble en alcohol e inodora...

Cuando se recuperaron de la anestesia... se les volvió a situar delante del espejo como prueba determinante de reconocimiento de sí mismos. Al ver sus caras pintadas en el espejo, todos los chimpancés respondieron dirigiéndose reiteradamente a las marcas, intentando tocar y examinar las zonas marcadas de sus cejas y orejas al tiempo que observaban la imagen en el espejo. Además, dedicaron más del triple de tiempo a observar el espejo... Varios chimpancés hicieron también notables intentos de examinar visualmente estas marcas faciales y de oler los dedos con los que las habían tocado. Supongo que el lector reaccionaría de forma muy parecida si al despertarse una mañana viese motas rojas en su cara.

(De «Hacia una psicología comparada de la mente», por G. G. Gallup, Jr., *American Journal of Primatology* 2: 237-248, 1983.)

La idea herencia o medio ambiente se encuentra con problemas

La historia de la idea herencia o medio ambiente puede resumirse parafraseando a Mark Twain: «Los informes de su muerte se han exagerado mucho». Cada vez que se ha desacreditado, ha vuelto a surgir en una forma algo modificada. En primer lugar, se comprobó que, además de la genética y el aprendizaje, hay otros factores que influyen en el desarrollo de la conducta. Se demostró que también influyen factores tales como el medio ambiente fetal, la alimentación, el estrés y la estimulación sensorial. Esto llevó a ampliar el concepto de medio ambiente de modo que incluyera una serie de factores relacionados con la experiencia, además del aprendizaje. De hecho, hizo que la dicotomía herencia o medio ambiente pasara de referirse a «factores genéticos o aprendizaje» a aludir a los «factores genéticos o la experiencia».

Luego se argumentó de modo convincente que la conducta siempre se desarrolla bajo el control conjunto de la herencia y del medio ambiente (véanse Johnston, 1987; Rutter, 1997), y no bajo el control de uno o de otro. Frente a este descubrimiento, muchos simplemente sustituyeron un tipo de ideología herencia o medio ambiente por otra similar. Dejaron de preguntarse: «¿Es genético o es resultado de la experiencia?» y empezaron a plantearse: «¿En qué medida es genético y en qué medida es resultado de la experiencia?»

Al igual que las primeras versiones de la pregunta herencia o ambiente, la versión de «cuánto es genético» y «cuánto es resultado de la experiencia» básicamente está mal planteada. El problema es que se basa en la premisa de que los factores genéticos y los relacionados con la experiencia [factores ambientales] se combinan de forma aditiva —que una capacidad comportamental, como la inteligencia, se genera combinando o mezclando tantas partes de genética y tantas de experiencia, en lugar de por la interacción de la genética y la experiencia—. Una vez que hayamos aprendido más sobre cómo interaccionan los factores genéticos y la experiencia, podremos apreciar mejor lo absurdo de esta suposición. Pero mientras tanto, permítaseme ilustrar su inconsistencia mediante una metáfora inmersa en una anécdota:

El caso de la estudiante que reflexionaba

Una de mis alumnas me contó que había leído que la inteligencia consiste en un tercio de genética y dos tercios de experiencia, y se preguntaba si eso era cierto. Debí quedarme extrañada cuando empecé mi respuesta describiendo una experiencia en los Alpes. «Estaba subiendo tranquilamente por la pendiente de una

cima cuando oí un ruido inesperado. Delante de mí, dándome la espalda, había un hombre joven sentado al borde de un precipicio tocando un extraño instrumento musical. Me senté detrás de él sobre una gran roca

Reflexión crítica

a pleno sol, tomé mi almuerzo y compartí con él su experiencia. Luego me levanté y bajé de la cima, sin molestarle».

Le planteé la siguiente pregunta a mi alumna: «¿Si yo pretendiera llegar a comprender mejor esta música, sería acertado empezar por preguntarme cuánto de ella provenía del músico y cuánto del instrumento?»

«Eso sería una tontería», dijo. «La música procede de ambos; no tiene sentido preguntarse cuánto proviene del músico y cuánto del instrumento. De alguna manera, la música es el resultado de la interacción entre ambos. Debería preguntarse acerca de la interacción».

«Eso es!», dije. «Ahora comprendes porqué...»

«No me diga nada más», me interrumpió. «Comprendo lo que quiere decir. La inteligencia es el resultado de la interacción entre los genes y la experiencia, y no tiene sentido tratar de descubrir cuánto proviene de los genes y cuánto de la experiencia».

«Y esto puede aplicarse a cualquier otro rasgo comportamental», añadí.

Varios días después la alumna irrumpió en mi despacho, buscó en su bolso y sacó un objeto conocido. «Creo que éste es su misterioso instrumento musical», dijo. «Es una guaira² peruana». Ella tenía razón... una vez más.

La intención de esta metáfora, por si el lector lo ha olvidado, es poner de manifiesto por qué no tiene sentido tratar de comprender la interacción entre dos factores preguntándose cuánto contribuye cada factor. No habríamos de preguntarnos cuánto contribuye el músico y cuánto la guaira al sonido de la guaira; ni cuánto contribuye el agua y cuánto la temperatura a la evaporación; ni cuánto contribuye el macho y cuánto la hembra a la cópula. Del mismo modo, no deberíamos preguntarnos cuánto contribuyen los factores genéticos y cuánto los relacionados con la experiencia al desarrollo de la conducta. En cada caso, la respuesta está en conocer la naturaleza de la interacción (véanse Lederhendler y Schulkin, 2000; Newcombe, 2002; Rutter y Silberg, 2002). La importancia de pensar de este modo interactivo acerca del desarrollo le resultará evidente al lector en el Capítulo 9, que se centra en los mecanismos de desarrollo neural. De cualquier manera, por el momento le basta con comprender que las neuro-

² Guaira o zampoña: flauta peruana (N. del T.).

nas se activan mucho antes de haberse desarrollado por completo y que el curso posterior de su desarrollo (p.ej., la cantidad de conexiones que establecen, o si sobreviven o no) depende en gran parte de su actividad, la cual está desencadenada en gran medida por las experiencias externas.

Un modelo de la biología de la conducta Hasta aquí en este apartado hemos examinado por qué se tiende a pensar acerca de la biología de la conducta en términos de dicotomías, y hemos visto algunas de las razones por las que

este modo de pensar no es el adecuado. Revisemos ahora el modo de pensar sobre la biología de la conducta que han seguido muchos biopsicólogos (véase Kimble, 1989). Éste se ilustra en la Figura 2.3. Al igual que otras ideas notables, es sencilla y lógica. El modelo se reduce a la sencilla premisa de que toda conducta es resultado de la interacción entre tres factores: (1) la dotación genética del organismo, que es producto de su evolución; (2) su experiencia; y (3) su percepción de la situación actual. Examine detenidamente el lector este modelo y considere sus implicaciones.

Reflexión crítica

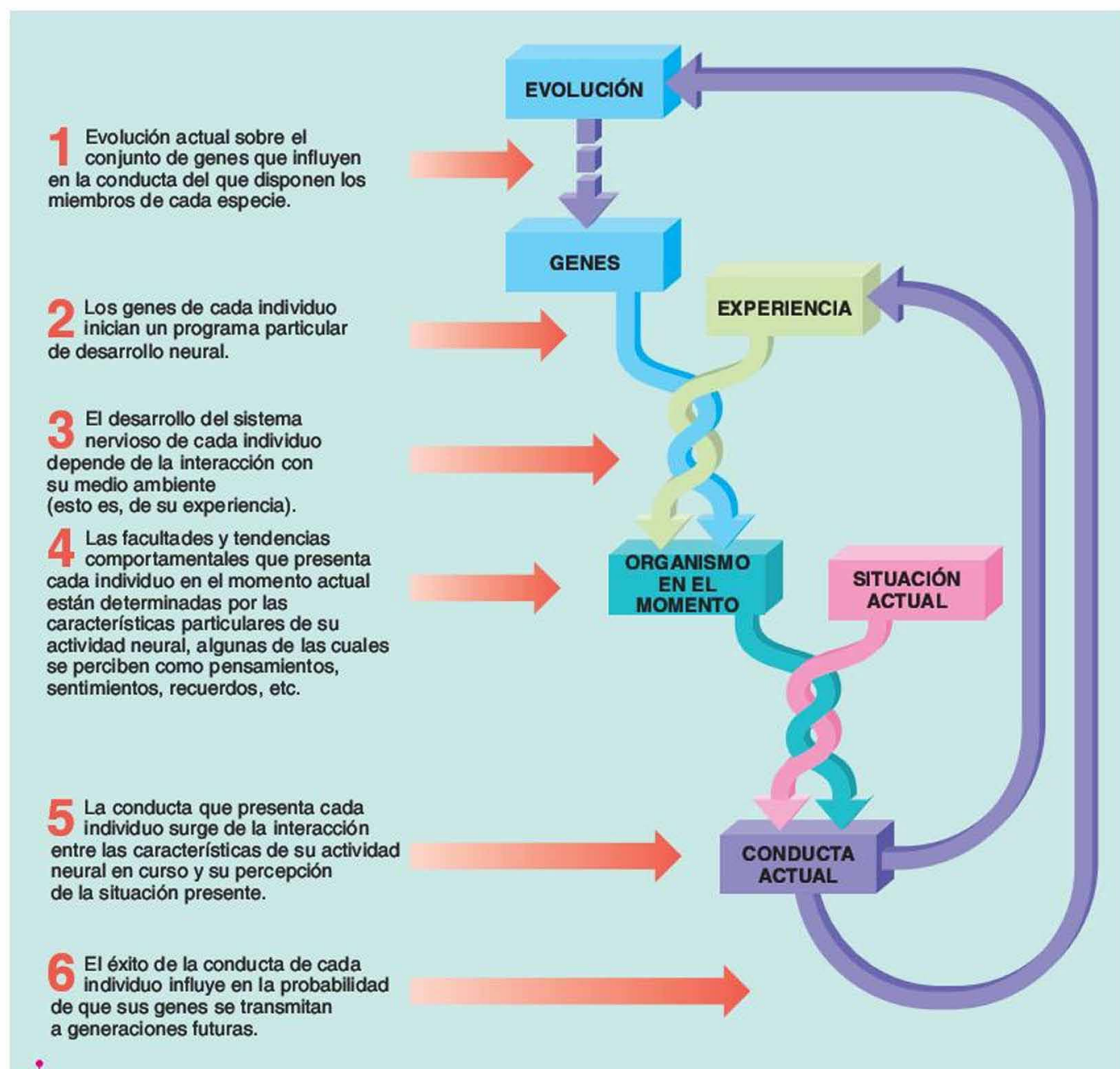


FIGURA 2.3

Esquema que ilustra la idea que tienen muchos biopsicólogos de la biología de la conducta.

Los tres apartados siguientes del presente capítulo versan sobre tres elementos de este modelo de conducta: la evolución, la genética y la experiencia en el desarrollo de

la conducta. El apartado final se ocupa de la genética de las diferencias psicológicas.

2.2

Evolución humana

La biología moderna comenzó en 1859 con la publicación de la obra *Sobre el origen de las especies*, de Charles Darwin. En esta magnífica obra, Darwin describió su teoría de la evolución, —la teoría, por excelencia, que ha ejercido más influencia en las ciencias biológicas—. Darwin no fue el primero en sugerir que las especies **evolucionan** (sufren cambios graduales sistemáticamente) a partir de especies ya existentes, pero sí fue el primero que acumuló una gran cantidad de pruebas a favor de ello y el primero que apuntó cómo tiene lugar la evolución.

Darwin presentó tres tipos de datos para apoyar su afirmación de que las especies evolucionan: (1) documentó la evolución de los registros fósiles a través de estratos geológicos cada vez más recientes; (2) describió las sorprendentes semejanzas estructurales que existen entre las especies vivas (p.ej., la mano humana, el ala del pájaro y la garra del gato), las cuales sugerían que habían evolucionado a partir de antepasados comunes, y (3) señaló los cambios más importantes que se habían llevado a cabo en plantas y animales domésticos mediante programas de crianza selectiva. Sin embargo, la prueba más convincente de evolución procede de la observación directa del proceso evolutivo. Por ejemplo, Grant (1991) observó la evolución de los pinzones de las Islas Galápagos —una población estudiada por el propio Darwin— tras sólo una temporada de sequía. En la Figura 2.4 se representan estos cuatro tipos de pruebas.

Darwin defendió que la evolución ocurre mediante **selección natural**. Hizo notar que los miembros de cada especie varían considerablemente en su estructura, fisiología y conducta, y que los rasgos hereditarios que se asocian con índices elevados de supervivencia y de reproducción son los que tienen más probabilidad de transmitirse a las generaciones posteriores. Argumentó que la selección natural, cuando se repite generación tras generación, desemboca en la evolución de las especies mejor adaptadas para sobrevivir y reproducirse en sus respectivos nichos ecológicos. Darwin llamó a este proceso *selección natural*, con el fin de resaltar su similitud con las prácticas de crianza selectiva artificiales empleadas por los criadores de animales domésticos. Al igual que los criadores de caballos crían caballos más rápidos cruzando selectivamente los más rápidos de la reserva con la que cuentan, la naturaleza crea animales más aptos cruzando selectivamente los más aptos. La **aptitud**, en el sentido darwiniano, es la capacidad

de un organismo para sobrevivir y contribuir con sus genes a la siguiente generación.

La teoría de la evolución se oponía a diversos puntos de vista dogmáticos arraigados en el *Zeitgeist* del siglo XIX, de modo que inicialmente se topó con obstáculos. Aunque todavía quedan vestigios de esta resistencia, prácticamente ninguno procede de quienes aceptan lo evidente (véase Mayr, 2000):

No existe una oposición significativa en el ámbito de la ciencia biológica a la idea de evolución por selección natural. Ésta requiere lógicamente el principio de selección natural; aunque, por supuesto, hay quien ha argumentado que esto es una tautología más que una ley empírica... El desarrollo subsiguiente de relevantes nuevas áreas de la biología, como la genética y la bioquímica, no ha hecho más que reforzar la conclusión de Darwin de que los hechos convierten en «inevitable» la creencia en la teoría de la evolución por selección natural. (Daly y Wilson, 1983, p. 7).

Evolución y conducta

Algunas conductas desempeñan una función evidente en la evolución. Por ejemplo, la capacidad de encontrar comida, de esquivar a los depredadores o de defender a las propias crías obviamente aumentan la capacidad del animal para transmitir sus genes a generaciones posteriores.

Perspectiva evolutiva

Otras conductas desempeñan una función menos evidente, pero no menos importante (véanse, p.ej., Bergman *et al.*, 2003; Dunbar, 2003; Silk, Alberts y Altmann, 2003). Dos ejemplos de ello son la dominancia social y la conducta de cortejo.

Dominancia social Los machos de muchas especies establecen una *jerarquía de dominancia social* estable mediante combates con otros machos. En algunas especies, estos combates suelen entrañar lesiones físicas; en otras, entrañan fundamentalmente posturas y gestos amenazantes hasta que uno de los dos combatientes se echa atrás. El macho dominante normalmente gana los combates contra todos los otros machos del grupo; el macho número dos normalmente gana los combates contra los otros machos, excepto contra el dominante, y así sucesivamente en sentido descendente en la jerarquía. Una vez establecida la jerarquía, las hostilidades disminuyen, ya que los machos



FIGURA 2.4 Cuatro tipos de pruebas que apoyan la teoría de que las especies evolucionan.

de posición baja en el rango aprenden a evitar o a someterse rápidamente a los machos dominantes. Puesto que la mayor parte de las peleas tiene lugar entre machos que compiten por una posición alta en la jerarquía social, los machos de posición baja pelean poco; así pues, los niveles más bajos de la jerarquía por lo general sólo se reconocen con imprecisión.

¿Por qué la dominancia social es un factor importante en la evolución? Una razón es que, en algunas especies, los machos dominantes copulan más que los no dominantes, y por lo tanto son más eficaces en cuanto a transmitir sus características a las generaciones posteriores. McCann (1981) estudió el efecto de la dominancia social en la fre-

cuencia con que copulaban 10 elefantes marinos machos que convivían en la misma playa de cría. La Figura 2.5 ilustra cómo estos enormes animales se desafían entre ellos, levantándose para ganar estatura y empujándose con el pecho. Normalmente, el más pequeño de los dos se echa atrás; si no lo hace, se entabla una feroz batalla con mordeduras en el cuello. McCann observó que el macho dominante consumaba alrededor del 37% de las cópulas durante el estudio, mientras que el infortunado número 10 de la jerarquía sólo el 1% (véase la Figura 2.5).

Otra razón por la que la dominancia social es un factor importante en la evolución es que, en ciertas especies, las hembras dominantes tienen más posibilidades de en-

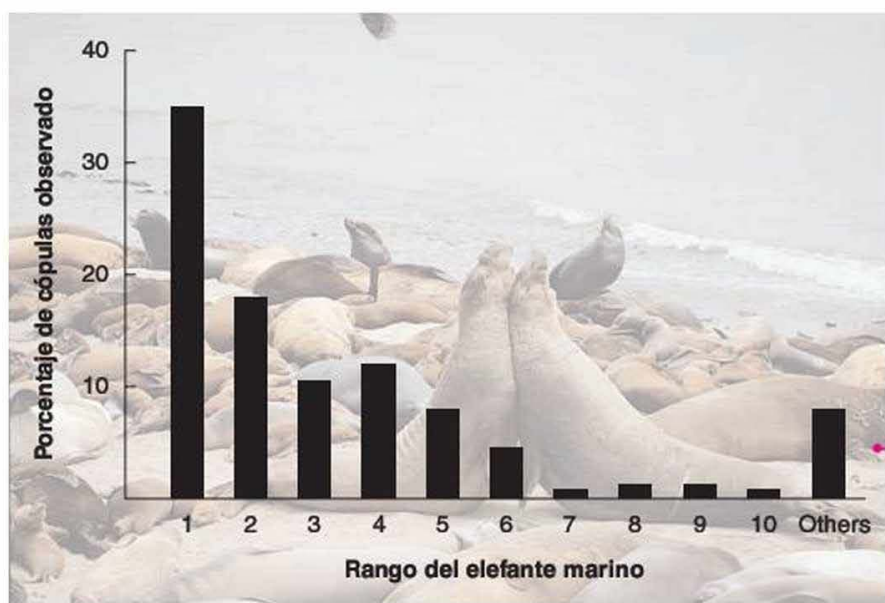


FIGURA 2.5 Dos enormes elefantes marinos machos se desafían uno a otro. El elefante marino macho dominante copula más frecuentemente que los que están más abajo en la jerarquía de dominio. (Adaptado de McCann, 1981.)

gendar una descendencia más numerosa y más sana. Por ejemplo, Pusey, Williams y Goodall (1997) encontraron que los chimpancés hembra situados en las posiciones más altas de la jerarquía tenían más descendencia; y que ésta tenía una mayor probabilidad de llegar a la madurez sexual. Atribuyeron estas ventajas al hecho de que los chimpancés hembras de posiciones altas tenían más posibilidades de seguir teniendo acceso a zonas ricas en alimentos.

Conducta de cortejo En muchas especies, la cópula se precede de una compleja serie de señales de cortejo. El macho se acerca a la hembra y le da muestras de su interés. Su señal (que puede ser olfativa, visual, auditiva o táctil) puede provocar una señal por parte de la hembra, lo cual a su vez provoca otra respuesta del macho, y así sucesivamente hasta que sucede la cópula. Pero no es probable que ocurra la cópula si uno de los miembros de la pareja no reacciona adecuadamente a las señales del otro.

Se piensa que las señales de cortejo promueven la evolución de nuevas especies. Permítasenos explicarlo. Una **especie** es un grupo de organismos que desde el punto de vista reproductor están aislados de otros organismos; es decir, los miembros de una especie sólo pueden tener una descendencia fértil si se emparejan con miembros de la misma especie. Una nueva especie comienza a bifurcarse de otra ya existente cuando hay algún obstáculo que dificulte la reproducción entre una parte de la población de la especie existente y el resto de la especie (Peterson, Soberón y Sánchez Cordero, 1999). Una vez que se ha formado una barrera reproductora semejante, esta parte de la población evoluciona independientemente del resto de la especie hasta que la fecundación cruzada resulta imposible.

La barrera reproductora puede ser geográfica. Por ejemplo, unos cuantos pájaros pueden volar juntos a una isla desierta, donde muchas generaciones de su descendencia se reproducen entre ellos y evolucionan formando una especie aparte. Otra posibilidad —para volver al punto de partida—, es que la barrera reproductora sea comportamental. Algunos miembros de una especie pueden establecer pautas de cortejo diferentes, y éstas pueden crear una barrera reproductora entre ellos y el resto de sus **congéneres** (miembros de la misma especie).

Desarrollo de la evolución humana

Estudiando los registros fósiles y comparando las especies actuales, los seres humanos hemos mirado hacia atrás en el tiempo y hemos reunido las piezas de la historia de la evolución de nuestra especie —aunque todavía se siguen discutiendo algunos detalles—. En este apartado se resume la evolución humana, tal como se entiende hoy en día.

Evolución de los vertebrados Los organismos acuáticos multicelulares complejos aparecieron por primera vez en la tierra hace unos 600 millones de años (Vermeij, 1996). Unos 150 millones de años después evolucionaron los primeros cordados. Los **cordados** son animales con tronco nervioso dorsal (nervios de gran tamaño que discurren a lo largo del centro de la espalda o *dorso*); representan 1 de las 20 o más amplias categorías, o *tipos*, en que los zoólogos agrupan a las especies animales. Los primeros cordados con huesos vertebrales para proteger su tronco nervioso dorsal aparecieron unos 25 millones de años más tarde. Los huesos vertebrales se denominan **vértebras**, y los cordados que las poseen, **vertebrados**.

Los primeros vertebrados fueron peces óseos primitivos. Hoy en día existen siete clases de vertebrados: tres clases de peces, más los anfibios, los reptiles, las aves y los mamíferos.

Evolución de los anfibios Hace unos 410 millones de años, los primeros peces óseos se aventuraron fuera del agua. Los peces que pudieron sobrevivir en tierra durante cortos períodos de tiempo tenían dos grandes ventajas: podían escapar de las charcas de aguas estancadas a las aguas frescas vecinas, y podían beneficiarse de las fuentes de alimento terrestres. Las ventajas de la vida en tierra fueron tantas que la selección natural transformó las aletas y las branquias de los peces óseos en patas y pulmones respectivamente —y fue así como se desarrollaron los primeros **anfibios** hace unos 400 millones de años—. Los anfibios (p.ej., las ranas, los sapos y las salamandras) necesitan vivir en el agua durante su fase de larva; sólo los anfibios adultos pueden sobrevivir en tierra.

Evolución de los reptiles Hace unos 300 millones de años evolucionaron los reptiles (lagartos, serpientes y tortugas) a partir de los anfibios. Los reptiles fueron los primeros vertebrados que ponían huevos recubiertos de cáscara y que tenían el cuerpo cubierto de escamas secas. Estas dos adaptaciones redujeron el grado de dependencia de los reptiles respecto a los hábitat acuáticos. Un reptil no tiene que pasar las primeras etapas de su vida en el medio ambiente acuático de un estanque o un lago; en lugar de ello, las pasa en el ambiente acuoso de un huevo recubierto de cáscara. Y una vez que ha salido del cascarón, el reptil puede vivir lejos del agua ya que sus escamas secas reducen en gran medida la pérdida de agua a través de su piel permeable.

Evolución de los mamíferos Hace unos 180 millones de años, en plena era de los dinosaurios, surgió una nueva clase de vertebrados a partir de una línea de pequeños reptiles. Las hembras de esta nueva clase alimentaban a sus crías con la secreción de unas glándulas especiales llamadas *glándulas mamarias*, razón por la cual a los miembros de esta línea se les dio el nombre de **mamíferos**. Con el tiempo, los mamíferos dejaron de poner huevos; en lugar de ello las hembras gestaban sus crías en el medio ambiente líquido del interior de sus cuerpos hasta que estaban suficientemente maduras para nacer. El *ornitorrinco* es una especie superviviente de mamífero que pone huevos.

El hecho de pasar la primera etapa de la vida dentro de la madre resultó ser muy útil para sobrevivir; aportó la seguridad a largo plazo y la estabilidad ambiental necesarias para que se lleven a cabo los complejos procesos de desarrollo. Hoy en día, existen 14 órdenes diferentes de mamíferos. El orden al que pertenecemos nosotros es el de los

primates. Los seres humanos —con nuestra humildad característica—, llamamos así a nuestro orden por el término latino *primus*, que significa «el primero» o «el más importante». Existen cinco familias de primates: prosimios, monos del Nuevo Mundo, monos del Viejo Mundo, simios y homínidos. En la Figura 2.6 aparecen ejemplos de estas cinco familias de primates.

Se cree que los *simios* (gibones, orangutanes, gorilas y chimpancés) evolucionaron a partir de una línea de monos del Viejo Mundo. Al igual que los monos del Viejo Mundo, los simios tienen brazos largos y pies prensiles especializados para desplazarse por los árboles; y tienen pulgares oponibles que no son lo suficientemente largos para resultar muy útiles en manipular objetos con precisión (véase la Figura 2.7 en la página 32). Sin embargo, al contrario que los monos del Viejo Mundo, los simios no tienen cola y pueden andar erguidos cortas distancias. Los chimpancés son los parientes vivos más próximos de los seres humanos: aproximadamente un 99% del material genético es idéntico en las dos especies (véanse O'Neill, Murphy y Gallagher, 1994).

Surgimiento del género humano La familia de los primates que incluye a los seres humanos es la de los **homínidos**. Simplificando, esta familia se compone de dos géneros: *Australopithecus* y *Homo* (*Homo erectus* y *Homo sapiens*). No obstante, los seres humanos (*Homo sapiens*) son la única especie de homínidos supervivientes. La *taxonomía* (clasificación) de la especie humana se ilustra en la Figura 2.8 en la página 32.

Los fósiles y las pruebas genéticas de la evolución humana son en la actualidad tema de extenso debate entre expertos (véanse Cann, 2001; Wong, 2003). Sin embargo, la mayoría opina que los australopitecos evolucionaron hace unos seis millones de años en África a partir de una línea de simios (*austral* significa «del sur» y *pithecus*, «simio»). Se cree que varias especies de *Australopithecus* vagaron por las llanuras de África durante unos cinco millones de años antes de llegar a extinguirse (véase Tattersall y Matternes, 2000). Los australopitecos medían sólo 1,3 metros y tenían encéfalos pequeños; pero el análisis de los huesos de su pelvis y de sus piernas indica que su postura era erguida como la nuestra. Cualquier duda sobre su postura erguida se disipó ante el descubrimiento de las huellas fosilizadas que se muestran en la Figura 2.9 en la página 32 (Agnew y Demas, 1998).

Se cree que la primera especie *Homo* evolucionó a partir de una especie de *Australopithecus* hace unos dos millones de años (Wood y Collard, 1999). La característica más distintiva de la originaria especie *Homo* era su gran cavidad cerebral (de aproximadamente 850 cm³), mayor que la del *Australopithecus* (unos 500 cm³) pero menor que la de los seres humanos modernos (unos 1.330 cm³). La originaria especie *Homo* utilizaba fuego y herramientas (véase



FIGURA 2.6 Ejemplos de cinco familias de primates diferentes.

Ambrose, 2001), coexistió en África con varias especies de *Australopithecus* durante aproximadamente medio millón de años hasta que éstos se extinguieron, y empezaron a emigrar en gran número de África hacia Europa y Asia hace 1,7 millones de años (véase Vekua *et al.*, 2002).

Unos 200.000 años atrás (Pääbo, 1995), la primitiva especie *Homo* fue reemplazada gradualmente en el registro fósil por los seres humanos modernos (*Homo sapiens*). A pesar de que los tres atributos primordiales de los seres hu-

manos —encéfalo grande, posición erguida y manos libres con pulgares oponibles— se han manifestado durante cientos de miles de años, extrañamente la mayoría de los logros humanos son recientes. La producción artística (p.ej., las pinturas rupestres y las tallas) no apareció hasta hace unos 40.000 años, la ganadería y la agricultura no se establecieron hasta hace unos 10.000 años (véase p.ej., Denham *et al.*, 2003), y la escritura no se inventó hasta hace unos 3.500 años.



FIGURA 2.7 Comparación de los pies y manos de un ser humano y un primate.



FIGURA 2.8 Taxonomía de la especie humana.



FIGURA 2.9 Huellas fosilizadas de homínidos *Australopithecus* que atravesaron a zancadas las cenizas volcánicas africanas hace unos 3,6 millones de años. Dejaron un rastro de 70 metros. Eran dos adultos y un niño; el niño a menudo caminaba sobre las huellas de los adultos.

Reflexiones acerca de la evolución humana

En la Figura 2.10 se representan las principales ramas de la evolución de los vertebrados. Al examinarla, hay que considerar la evolución en perspectiva y tener en cuenta los ocho puntos siguientes, con frecuencia malinterpretados, sobre la evolución:

Reflexión crítica

1. El proceso evolutivo no avanza en una única línea. Aunque se suele pensar en una «escalera» o escala evolutiva, sería mucho más adecuado emplear la metáfora de un denso arbusto.

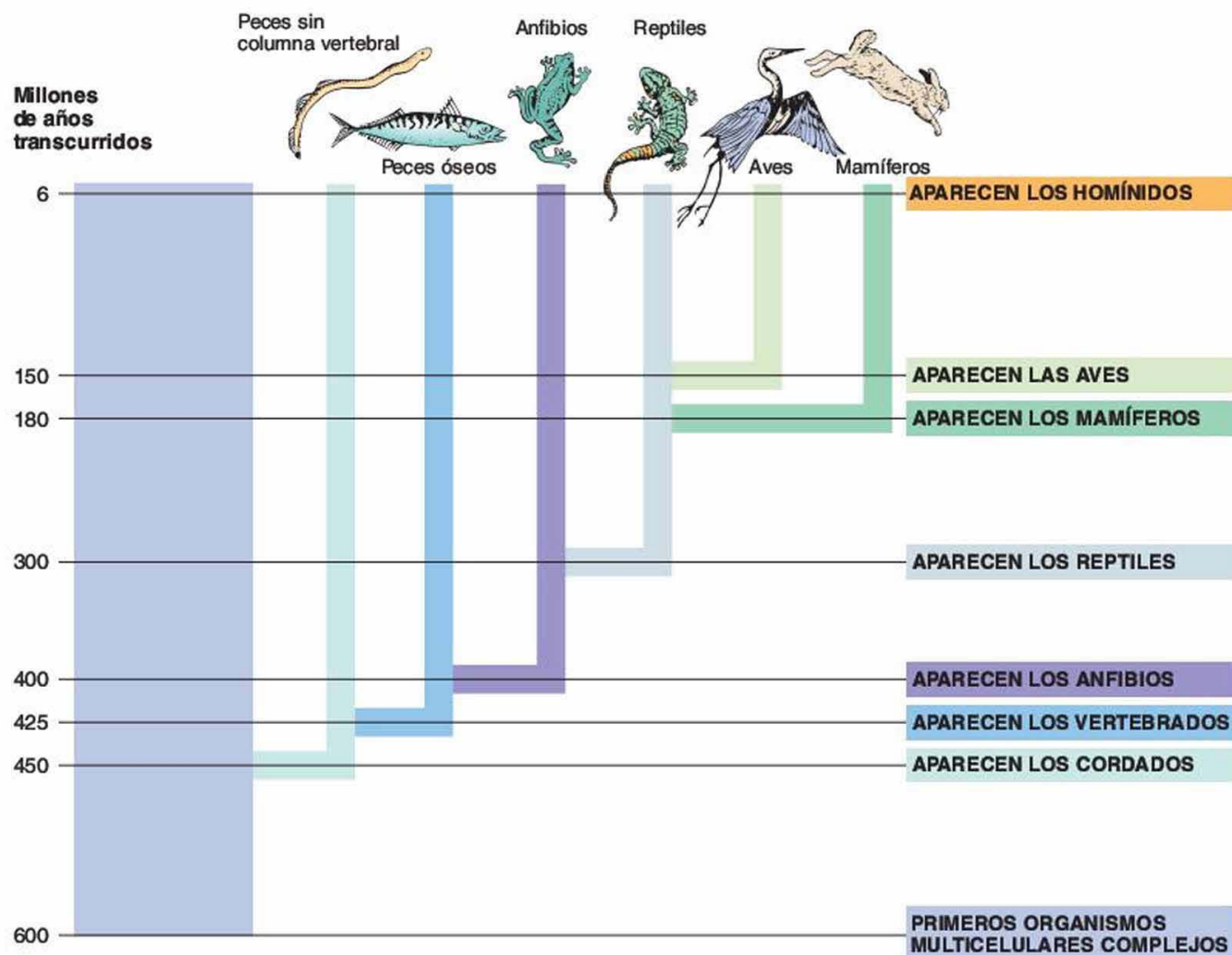


FIGURA 2.10 Evolución de los vertebrados.

- Los seres humanos tenemos pocos motivos para reclamar la supremacía evolutiva. Somos la última especie superviviente de una familia (la de los homínidos) que ha existido tan sólo durante un momento fugaz del tiempo de la evolución.
- La evolución no siempre se desarrolla lenta y gradualmente. Cambios repentinos del entorno pueden desencadenar rápidos cambios evolutivos (es decir, en unas cuantas generaciones) (véase Becker, 2002) o por mutaciones genéticas adaptativas (véase Elena, Cooper y Lenski, 1996). Si la evolución humana ocurrió de forma gradual o de forma repentina sigue siendo motivo de intenso debate entre los *paleontólogos* (los que estudian científicamente los fósiles) —véase Kerr (1996)—. Más o menos al mismo tiempo que los homínidos evolucionaban, hubo un repentino enfriamiento de la tierra que llevó a una disminución de las selvas y un aumento de los pas-

tizales en África. Puede que esto acelerara la evolución humana.

- Pocos frutos de la evolución han sobrevivido hasta nuestros días —sólo han perdurado las puntas del arbusto evolutivo—. Menos del uno por ciento de las especies conocidas existe todavía.
- La evolución no progresa hacia una perfección predeterminada —la evolución es un diablillo, no un arquitecto—. Los aumentos de la capacidad de adaptación se dan mediante cambios en programas de desarrollo existentes; y los resultados, aunque representan mejoras en su contexto ambiental particular, nunca son un diseño perfecto (véase Nesse y Williams, 1998). Por ejemplo, el hecho de que el espermatozoide de mamífero no se desarrolle eficazmente a la temperatura corporal llevó a la evolución del escroto —el cual no es precisamente una solución perfecta para un problema de diseño—.

6. No todas las conductas ni las estructuras existentes son adaptativas. A menudo la evolución ocurre mediante cambios en los programas de desarrollo que desembocan en varias características relacionadas, de las cuales puede que sólo una sea adaptativa — los productos secundarios incidentales evolutivos que no contribuyen a la adaptación se denominan *spandrels*³. Asimismo, las conductas y estructuras que en un momento fueron adaptativas pueden llegar a ser no adaptativas, o incluso desadaptativas, si cambia el medio ambiente. El ombligo del ser humano es un *spandrel*: no tiene una función adaptativa y no es más que un subproducto del cordón umbilical.
7. No todas las características adaptativas existentes evolucionaron para desempeñar su función actual. Algunas características, llamadas *exaptaciones*, evolucionaron para cumplir una función y más tarde fueron reclutadas para realizar otra (Buss *et al.*, 1998; Tattersall, 2001). Por ejemplo, las alas de los pájaros son exaptaciones —se trata de extremidades que en un principio evolucionaron con el fin de servir para caminar—.
8. El hecho de que haya semejanzas entre las especies no significa necesariamente que éstas tengan un origen evolutivo común. A las estructuras que son similares porque tienen un origen evolutivo común se llaman *homólogas*; a las que son similares pero no tienen un origen evolutivo común se denominan *análogas*. Las semejanzas entre estructuras análogas son el resultado de la *evolución convergente*, la evolución en especies no relacionadas de soluciones similares para los mismos requerimientos ambientales. Decidir si una semejanza estructural es análoga u homóloga depende de un cuidadoso análisis de la semejanza. Por ejemplo, el ala de un pájaro y el brazo de un ser humano tienen en común su estructura esquelética básica subyacente, lo cual sugiere un antepasado común (véase Burke y Feduccia, 1997); por lo contrario, el ala de un pájaro y el ala de una abeja tienen pocas semejanzas estructurales, aunque desempeñan la misma función.

Evolución del encéfalo humano

Los primeros estudios sobre el encéfalo humano se centraron en su tamaño. Estos estudios estaban motivados por la idea de que existe una estrecha relación entre el ta-

maño del encéfalo y la capacidad intelectual; supuesto que rápidamente se encontró con dos problemas. En primer lugar, se ha demostrado que los seres humanos modernos, a quienes los seres humanos modernos consideran las más inteligentes de las criaturas, no son los que tienen el encéfalo más grande. Con encéfalos que pesan aproximadamente 1.350 gramos, los seres humanos se sitúan muy por debajo de las ballenas y los elefantes, cuyos encéfalos pesan entre 5.000 y 8.000 gramos (Harvey y Krebs, 1990). En segundo lugar, se ha encontrado que el tamaño del encéfalo de intelectuales célebres (p.ej., Einstein) era común y corriente, en verdad no parejo al de su gigantesco intelecto. Ahora resulta obvio que, a pesar de que los encéfalos de los seres humanos adultos sanos varían considerablemente de tamaño —entre unos 1.000 y 2.000 gramos—, no hay una relación clara entre el tamaño cerebral y la inteligencia.

Un problema evidente al relacionar el tamaño del encéfalo con la inteligencia es el hecho de que los animales más grandes suelen tener encéfalos más grandes, supuestamente porque los cuerpos más grandes necesitan más tejido cerebral para controlarlos y regularlos. Así pues, el hecho de que los hombres más grandes por lo general tengan encéfalos más grandes que los hombres pequeños, de que los hombres suelen tener encéfalos más grandes que las mujeres, y de que los elefantes tengan encéfalos más grandes que los seres humanos no indica algo concreto sobre la inteligencia relativa de estas poblaciones. Este problema llevó a proponer que el peso del encéfalo, expresado como porcentaje del peso total del cuerpo, podría ser una medida más fiable de la capacidad intelectual. Esta medida permite a los seres humanos (con un 2,33%) recuperar su legítima posición por delante de los elefantes (con un 0,2%), pero también permite que tanto los seres humanos como los elefantes sean superados por el gigante intelectual del reino animal, la musaraña (con un 3,33%).

Un modo más razonable de abordar el estudio de la evolución cerebral ha sido comparar la evolución de diferentes regiones cerebrales (Finlay y Darlington, 1995; Killackey, 1995). Por ejemplo, ha sido útil considerar por separado la evolución del **tronco del encéfalo** y la del **cerebro** (entendiendo aquí por éste, los hemisferios cerebrales). En términos generales, el tronco del encéfalo regula actividades reflejas que son decisivas para la supervivencia (p.ej., la frecuencia cardíaca, la respiración y la glucemia), mientras que el cerebro está implicado en procesos adaptativos más complejos tales como el aprendizaje, la percepción y la motivación.

La Figura 2.11 es una representación esquemática del tamaño relativo del tronco del encéfalo y del cerebro en varias especies que son descendientes vivas de especies a partir de las cuales han evolucionado los seres humanos. En ésta figura se destacan tres aspectos importantes de la evolución del encéfalo humano. El primero es que ha

³ En biología evolutiva, *spandrel*, término introducido por Lewontin y Gould (1979) en su crítica a las teorías de adaptación de los sociobiólogos; podría traducirse al castellano como «enjuta»: espacio entre los arcos que sostienen una bóveda al que se le atribuye una función secundaria (N. del T.).

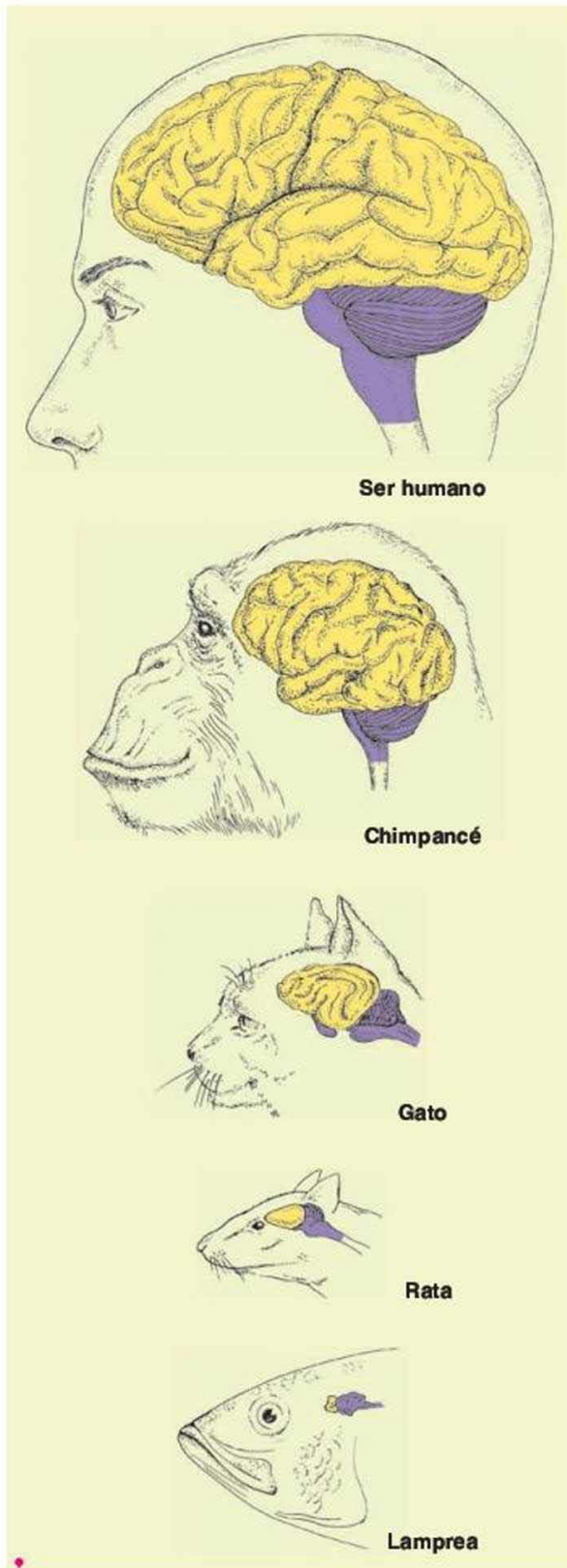


FIGURA 2.11 Encéfalos de animales de diferente edad evolutiva. El cerebro se representa en beige y el tronco del encéfalo en azul.

aumentado de tamaño a lo largo de la evolución; el segundo, que la mayor parte del aumento de tamaño concierne al cerebro; y el tercero, que ha habido un incremento en la cantidad de **circunvoluciones** —pliegues de la superficie cerebral—, lo cual ha aumentado considerablemente el volumen de la corteza cerebral (la capa más externa del tejido cerebral).

Sin embargo, las semejanzas entre los encéfalos de distintas especies relacionadas son más significativas que las diferencias. Todos los encéfalos están compuestos por neuronas, y las estructuras neurales que forman el encéfalo de una especie casi siempre pueden encontrarse en los encéfalos de especies relacionadas. Por ejemplo, en la *corteza parietal* de los seres humanos, de los monos y de los gatos se han encontrado neuronas que responden a la cantidad de objetos que hay en una muestra de ellos, independientemente de cuáles sean los objetos (véanse Dehaene, 2002; Nieder, Freedman y Miller, 2002).

Psicología evolucionista: comprender los vínculos de apareamiento

Muchos psicólogos han adoptado el enfoque evolucionista. Por supuesto, un nuevo campo de la psicología, al que se ha llamado *psicología evolucionista*⁴, se ha constituido en torno suyo. La psicología evolucionista trata de entender la conducta humana considerando las presiones que llevaron a su evolución. Parte del trabajo más interesante y controvertido en este campo se ha centrado en preguntas acerca de las diferencias sexuales en la elección de pareja, preguntas que quizá el lector esté planteándose en su propia vida (véase Geary, 1999).

En la mayoría de las especies, el apareamiento es totalmente promiscuo. La promiscuidad es un plan de apareamiento en el que los miembros de ambos sexos copulan indiscriminadamente con muchas parejas diferentes durante cada período de apareamiento. Aunque este tipo de cópula indiscriminada es el modo predominante de reproducción (véase Small, 1992), los machos y las hembras de algunas especies establecen *vínculos de apareamiento* (relaciones de apareamiento duraderas) con miembros del otro sexo.

La mayoría de los mamíferos tienden a establecer vínculos de apareamiento. ¿Por qué? Una influyente teoría, propuesta originalmente por Trivers (1972), atribuye la evolución del establecimiento de estos vínculos en los mamíferos al hecho de que sus hembras paren una cantidad relativamente pequeña de crías indefensas y que se

Perspectiva evolutiva

⁴ La disciplina de psicología evolucionista (*evolutionary psychology*), a diferencia de la que en español se denomina psicología evolutiva (*developmental psychology*), busca comprender la conducta del ser humano desde el enfoque de la biología evolutiva. Puede considerarse una versión moderna de la sociobiología (N. del T.).

desarrollan lentamente. Como resultado, para los mamíferos macho resulta adaptativo permanecer con las hembras que portan su descendencia y favorecer que ésta se desarrolle satisfactoriamente. Un mamífero macho que se comporta así, tiene más posibilidades de traspasar sus características hereditarias a las generaciones venideras. Por consiguiente, la selección natural ha promovido la evolución en los mamíferos macho de la tendencia a vincularse con las hembras con las que han copulado. De igual modo, existe una presión de selección sobre los mamíferos hembra para comportarse de manera que induzca a los machos a vincularse con ellas, ya que esto aumenta sus posibilidades de transmitir sus propias características hereditarias a las generaciones futuras. En muchas especies, los vínculos de apareamiento duran toda la vida.

El modelo de vínculo de apareamiento más prevalente entre los mamíferos es la **poligamia**, un arreglo en el que un macho establece vínculos de apareamiento con más de una hembra. ¿Cómo evolucionó la poligamia en tantas especies de mamíferos? Las pruebas sugieren que evolucionó como el sistema predominante de apareamiento en los mamíferos porque los mamíferos hembra hacían una contribución mucho mayor que los machos a la crianza de su prole (Trivers, 1972). En los mamíferos, las madres llevan a sus crías en desarrollo en el interior de sus cuerpos, a veces durante muchos meses, y luego les amamantan y cuidan de ellos después de que hayan nacido. Por lo contrario, los padres de los mamíferos a menudo no contribuyen a la reproducción más que con el esperma. Una de las principales consecuencias de esta disposición parental unilateral es que las hembras de los mamíferos sólo pueden tener unos cuantos descendientes durante su vida, mientras que los machos pueden engendrar muchos descendientes.

Ya que cada mamífero hembra sólo puede tener unos cuantos descendientes, tiene que asegurarse de que sus características hereditarias van a transmitirse a futuras generaciones en la cantidad suficiente. En particular, es importante que se aparee con machos especialmente aptos. Aparearse con machos aptos aumenta la posibilidad de que su descendencia sea apta y pase sus genes, junto con los de su pareja, a la siguiente generación; también aumenta la probabilidad de que, por pequeño que sea el apoyo parental que su descendencia reciba del padre, será eficaz. Así pues, según la teoría actual, la tendencia a establecer vínculos de apareamiento sólo con los machos más aptos evolucionó en las hembras de muchas especies de mamíferos. Por lo contrario, dado que los mamíferos macho pueden engendrar tantos descendientes, ha habido poca presión evolutiva sobre ellos para que sean selectivos en su apareamiento —los machos de la mayoría de las especies de mamíferos establecerán vínculos de apareamiento con tantas hembras como puedan—. La consecuencia inevitable del apareamiento selectivo de los mamíferos hembra y del

apareamiento no selectivo de los mamíferos macho es la **poligamia** (véase la Figura 2.12).

La prueba más sólida a favor de la teoría que la poligamia evoluciona cuando las hembras contribuyen más que los machos a la reproducción procede de los estudios de **poliandria**. Ésta es un plan de apareamiento en el cual una hembra establece vínculos de apareamiento con más de un macho. La poliandria no se da en los mamíferos, sólo ocurre en especies en las que la contribución de los machos a la reproducción es mayor que la de las hembras. Por ejemplo, en una especie que se ajusta a la poliandria, el caballito de mar, la hembra deposita sus huevos en la bolsa del macho, él los fertiliza y las lleva consigo hasta que han madurado lo suficiente para valerse por sí mismas (véase Daly y Wilson, 1983).

La opinión actual es que tanto el aumento de talla corporal como la tendencia a entablar peleas evolucionaron en los machos de los mamíferos porque las hembras de los mamíferos tienden a ser más selectivas en su vínculo reproductor. Debido a la selectividad de las hembras, la competitividad entre los machos por las parejas para reproducirse se hace violenta, y sólo los contendientes que ganan transmiten sus genes. Por lo contrario, las hembras de la mayoría de las especies tienen pocos problemas en encontrar una pareja para reproducirse.

Aunque la mayoría de los mamíferos son polígamos, el 3% de las especies de mamíferos, incluidos los seres humanos, son básicamente monógamos. La **monogamia** es un modelo de vínculo de apareamiento en el que se establecen vínculos duraderos entre un macho y una hembra. A pesar de que la monogamia es el sistema de vínculo de apareamiento más frecuente en los seres humanos, es importante recordar que no es el sistema predominante en los mamíferos.



FIGURA 2.12 Los caballos, al igual que la mayoría de los animales, son polígamos. El semental se reproduce con todas las yeguas de la manada en virtud de sus victorias sobre otros machos.

Se piensa que la monogamia ha evolucionado en las especies de mamíferos en las que cada hembra puede producir más crías, o crías más aptas, si tiene una ayuda no dividida (véase Dewsbury, 1998). En tales especies, cualquier cambio en la conducta de la hembra que anime a un macho a unirse exclusivamente con ella incrementaría la probabilidad de que sus características hereditarias se transmitan a generaciones ulteriores. Un cambio conductual semejante es que cada hembra mantenga a otras hembras en edad de procreación lejos de su pareja. Esta estrategia es particularmente eficaz si una hembra no copula con un macho hasta que éste haya permanecido con ella durante un cierto tiempo. Una vez que hubo evolucionado esta pauta de conducta en las hembras de determinadas especies, la estrategia óptima de apareamiento en los machos cambiaría. Le sería difícil al macho unirse con muchas hembras, y la mejor oportunidad para el macho de tener una descendencia apta numerosa sería unirse con una hembra apta y dedicarle a ella y su descendencia la mayor parte de su esfuerzo reproductor. Por supuesto, en una relación monógama, es importante que los machos escojan hembras fértiles y que las hembras escojan machos que las protejan eficazmente a ellas y a su descendencia.

Conviene no perder de vista el hecho de que la importancia de la psicología evolucionista no reside en las muchas teorías que ha generado. Es fácil especular sobre cómo ha evolucionado una determinada conducta humana sin haber refutado nunca una teoría, ya que no se puede saber con certeza cómo ha evolucionado una conducta existente. Las buenas teorías sobre la evolución comportamental incorporan predicciones sobre las conductas que ocurren, de modo que las predicciones —y por lo tanto las teorías— puedan examinarse. Las teorías que no pueden someterse a prueba son poco útiles.

Reflexión crítica



2.3 Fundamentos de genética

Darwin no comprendió dos de los hechos clave en los que estaba basada su teoría de la evolución. No comprendió por qué los congéneres se diferencian unos de otros, ni cómo se transmiten de padres a hijos las características anatómicas, fisiológicas y comportamentales. Mientras Darwin cavilaba sobre estas cuestiones, en sus archivos había un manuscrito sin leer en el que estaban las respuestas. Le había sido enviado por un desconocido monje agustino, Gregor Mendel. Desafortunadamente para Darwin (1809-1882) y para Mendel (1822-1884), la trascendencia de las investigaciones de Mendel no se reconoció hasta la primera parte del siglo XX, mucho tiempo después de la muerte de ambos.

La precedente teoría evolucionista de elección de pareja es una teoría que ha llevado a muchas predicciones sobre aspectos actuales de la elección de pareja en seres humanos. Buss (1992) ha confirmado varias de ellas; (1) Los hombres de la mayoría de las culturas valoran la juventud y el atractivo (ambos son índices de fertilidad) en sus parejas más de lo que lo hacen las mujeres; en contraposición, las mujeres valoran el poder y la capacidad de ingresos económicos más que los hombres. (2) El atractivo físico es lo que mejor predice qué mujeres se unirán con hombres de alto nivel profesional. (3) La principal estrategia de las mujeres para atraer a una pareja es aumentar su atractivo físico; la de los hombres, hacer alarde de su poder y sus recursos. (4) Los hombres son más propensos que las mujeres a ser adúlteros.

El anterior análisis de la psicología evolucionista —y otros similares— hace posible entender tres puntos clave. Primero, ilustra la capacidad del análisis evolucionista para procurar entendimiento de incluso los procesos psicológicos más complejos. Segundo, destaca que los seres humanos somos el resultado de unos 600 millones de años de adaptación. Y tercero, subraya el hecho de que los seres humanos estamos relacionados con todas las demás especies animales —en algunos casos, más estrechamente de lo que nos gustaría— (véanse Doss y Chapman, 1998; Whiten y Boesch, 2001).

Incluso nuestras esperanzas y deseos más íntimos son producto de la evolución. Es de suma importancia, sin embargo, tener en cuenta que las tendencias comportamentales que ha impuesto la evolución existen en los seres humanos sin que esto requiera que lo comprendamos o incluso que seamos conscientes de ello; y que todas las tendencias hereditarias son moduladas por la experiencia (véase Eagly y Word, 1999). Pensémoslo.

Reflexión crítica

Genética mendeliana

Mendel estudió los mecanismos de la herencia en las plantas del guisante. Al diseñar sus experimentos, tomó dos sabias decisiones. Decidió estudiar los rasgos dicotómicos y decidió asimismo comenzar sus experimentos cruzando los descendientes de líneas reproductoras puras. Los **rasgos dicotómicos** son los que ocurren de una manera o de otra, pero nunca en combinación. Por ejemplo, el color de la semilla es un rasgo dicotómico de la planta del guisante: cada una tiene semillas o bien marrones o bien blancas. Las **líneas reproductoras puras** son líneas de reproducción en las que los miembros que se han cruzado siempre produ-

cen una descendencia con el mismo rasgo (p.ej., semillas marrones), generación tras generación.

En uno de sus primeros experimentos, Mendel estudió la herencia del color de la semilla: marrón o blanco. Empezó por cruzar la descendencia de una planta del guisante que procedía de una línea pura de semillas marrones con la de otra que procedía de una línea pura de semillas blancas. Toda la descendencia de este cruce tenía semillas marrones. A continuación, Mendel cruzó a estos descendientes de primera generación con los de otra y encontró que aproximadamente las tres cuartas partes de la segunda generación resultante tenían semillas marrones y aproximadamente un cuarto tenía semillas blancas. Mendel repitió este experimento varias veces con diversos pares de rasgos dicotómicos de la planta del guisante, obteniendo siempre el mismo resultado. Uno de los rasgos, al que Mendel llamó **rasgo dominante**, se manifestó en todos los descendientes de la primera generación; el otro rasgo, denominado por Mendel **rasgo recesivo**, se manifestó en alrededor de una cuarta parte de la descendencia de segunda generación. Mendel habría obtenido resultados similares si hubiera llevado a cabo este experimento con líneas reproductoras puras de seres humanos con ojos marrones (rasgo dominante) y con ojos azules (rasgo recesivo).

El resultado del experimento de Mendel era contrario a la premisa central en la que se habían basado todas las ideas acerca de la herencia: que la descendencia hereda los rasgos de sus progenitores. De alguna manera, el rasgo recesivo (semillas blancas) se traspasó a una cuarta parte de la segunda generación de las plantas del guisante a través de la primera generación, que no tenía este rasgo. Se alude a los rasgos que manifiesta un individuo como su **fenotipo**; a los que puede traspasar a su descendencia mediante su material genético, como su **genotipo**.

Mendel discurrió una teoría para explicar sus resultados. Ésta implicaba cuatro ideas. En primer lugar, Mendel propuso que existen dos tipos de factores hereditarios para cada rasgo dicotómico —por ejemplo, que un factor de semilla marrón y un factor de semilla blanca controlan el color de la semilla—. Hoy en día llamamos **gen** a cada factor hereditario. En segundo lugar, Mendel apuntó que cada organismo posee dos genes para cada uno de sus rasgos dicotómicos; por ejemplo, cada guisante posee ya sea dos genes de semilla marrón, ya dos genes de semilla blanca, ya uno de cada. Los dos genes que controlan el mismo rasgo se llaman **alelos**. Se dice que los organismos que tienen dos genes idénticos para un rasgo son **homocigóticos** en cuanto a ese rasgo; mientras que aquellos con dos genes diferentes para un rasgo son **heterocigóticos** en cuanto a dicho rasgo. En tercer lugar, Mendel sugirió que uno de los dos tipos de genes de cada rasgo dicotómico domina al otro en los organismos heterocigóticos. Por ejemplo, los guisantes con un gen de semilla marrón y un gen de semilla blanca tienen siempre semillas marrones por-

que el gen de semilla marrón es dominante sobre el de semilla blanca. Y en cuarto lugar, Mendel defendió que en lo referente a cada rasgo los organismos heredan al azar uno de los dos factores de su «padre» y uno de los dos factores de su «madre». En la Figura 2.13 se ilustra cómo la teoría de Mendel explica los resultados de su experimento sobre la herencia del color de la semilla del guisante.

Cromosomas, reproducción y ligamiento

Hasta principios del siglo xx no pudieron localizarse los genes dentro de los **cromosomas** —estructuras filiformes en el **núcleo** de la célula—. Los cromosomas se hallan por parejas, y cada especie tiene un número característico de pares de cromosomas en cada una de las células de su cuerpo; los seres humanos tenemos 23 pares. Los dos genes (alelos) que controlan cada rasgo se sitúan en el mismo **locus**, uno en cada cromosoma de un par determinado.

El proceso de división celular que produce **gametos** (los óvulos y los espermatozoides) se llama **meiosis** —véase Sluder y McCollum (2000)—. Durante la meiosis, los cromosomas se dividen y un cromosoma de cada par se dirige a cada uno de los dos gametos resultantes de la división. En consecuencia, cada gameto tiene sólo la mitad del número habitual de cromosomas (23 en los seres humanos); y cuando un espermatozoide y un óvulo se fusionan durante la fertilización (véase la Figura 2.14) se forma un **cigoto** —un óvulo fertilizado— con la dotación completa de cromosomas. Todas las demás divisiones de las células somáticas tienen lugar mediante **mitosis**. El número de cromosomas se duplica justo antes de la división mitótica, de modo que, cuando tiene lugar la división, las dos células hijas acaban por tener la dotación cromosómica completa. En la Figura 2.15, página 39, se representan la meiosis, la fertilización y la mitosis.

La meiosis explica gran parte de la diversidad genética dentro de cada especie. En los seres humanos, por ejemplo, cada división meiótica produce dos gametos. Cada gameto contiene 1 cromosoma de cada uno de los 23 pares presentes en las células somáticas. Puesto que cada uno de los 23 pares se distribuye al azar entre los dos gametos, cada ser humano puede producir gametos con 2^{23} (8.388.608) combinaciones diferentes de cromosomas.

A principios del siglo xx, Morgan y sus colaboradores (1915) realizaron el primer estudio exhaustivo sobre **ligamiento**. Encontraron que existen cuatro grupos distintos de genes en la mosca de la fruta. Si una de estas moscas heredaba de un progenitor el gen para un rasgo perteneciente a un grupo, tenía una mayor probabilidad (más del 0,5) de heredar genes de otros rasgos procedentes del grupo del mismo progenitor. Dado que las moscas de la

EN EL CD



Consulte el módulo *Mitosis* para ver cómo opera este tipo de división celular.

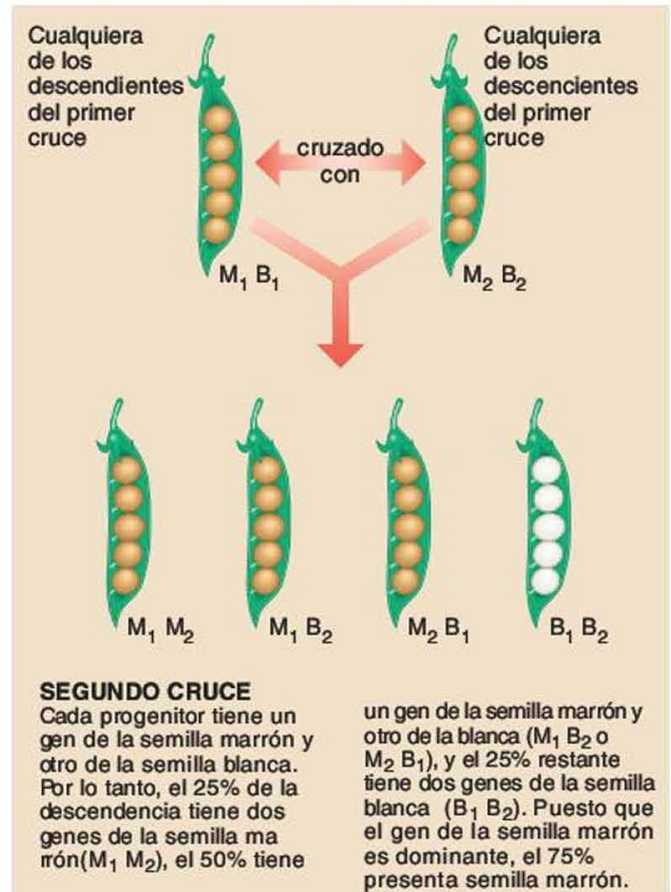
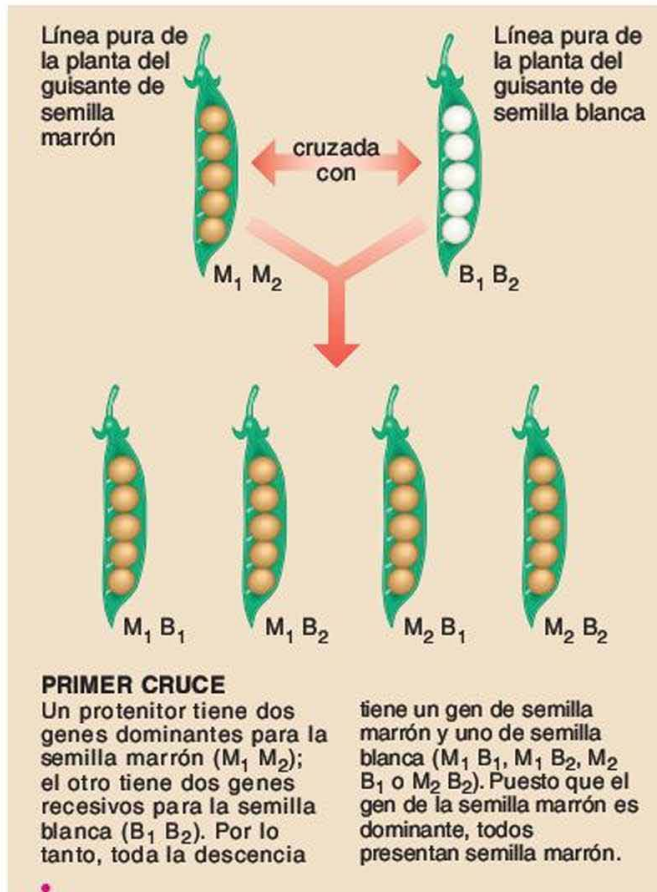


FIGURA 2.13 Cómo explica la teoría de Mendel los resultados de su experimento sobre la herencia del color de la semilla en las plantas del guisante.

fruta tienen cuatro pares de cromosomas, Morgan y colaboradores concluyeron que entre rasgos que están codificados en el mismo cromosoma se da ligamiento. Estaban en lo cierto: se ha encontrado que, en cada especie en que

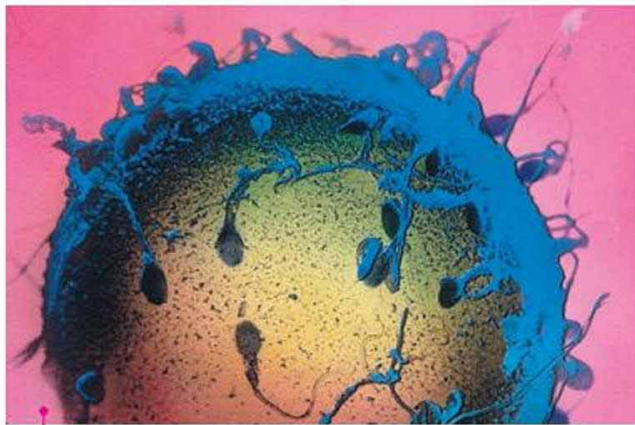


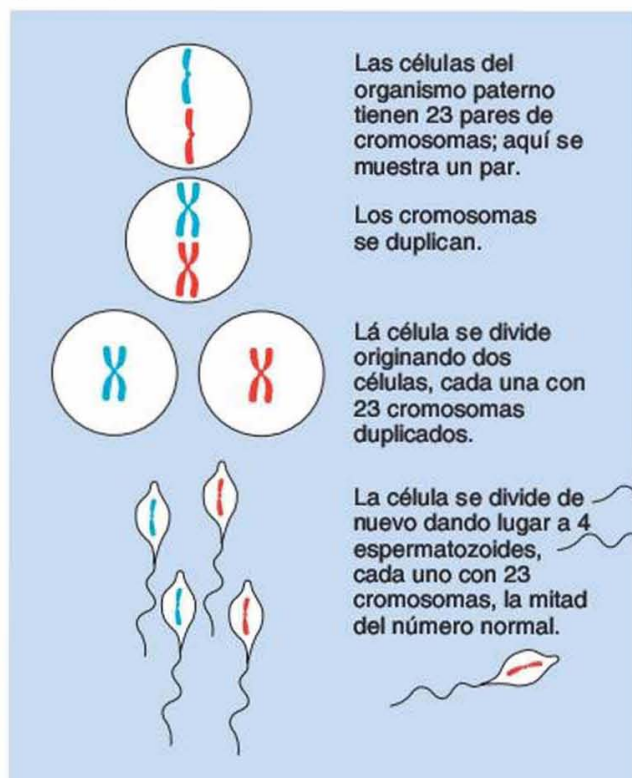
FIGURA 2.14 Durante la fertilización los espermatozoides se unen a la superficie de un óvulo; sólo uno entrará en el óvulo y lo fertilizará.

se ha examinado el ligamiento, la cantidad de grupos de rasgos ligados es equivalente al número de pares de cromosomas.

Si los genes se transmiten de generación en generación mediante los cromosomas, ¿por qué no se heredan siempre juntos los genes que están en un mismo cromosoma? El ligamiento entre los pares de genes de un único cromosoma varía de ser casi total (cerca del 1,0) a darse casi por azar (justo por encima del 0,5) [ligamiento parcial].

Morgan y sus colaboradores propusieron que el **entrecruzamiento genético** aporta la solución al problema del ligamiento parcial. En la Figura 2.16, página 39, se muestra cómo opera el entrecruzamiento. Durante la primera fase de la meiosis, una vez que se han replicado los cromosomas, éstos se alinean por pares. Luego habitualmente se entrecruzan entre ellos en puntos aleatorios, se parten en los puntos de contacto y se intercambian segmentos. En consecuencia, los padres rara vez transmiten grupos intactos de genes cromosómicos a sus hijos. Cada uno de nuestros gametos contiene cromosomas que son combinaciones ensambladas únicas de cromosomas, heredadas de nuestra madre y nuestro padre.

Los espermatozoides se producen por división meiótica



Los óvulos se producen por división meiótica

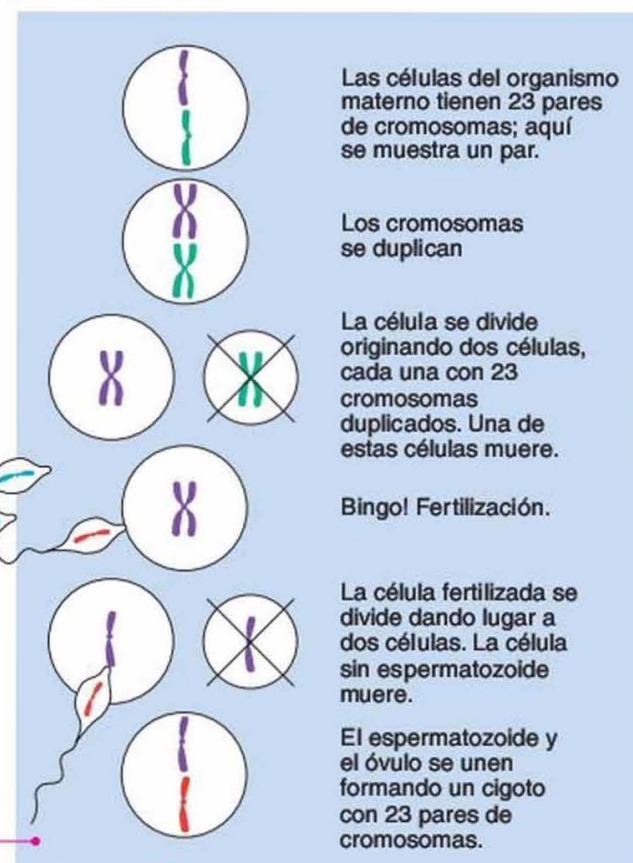


FIGURA 2.15 División celular meiótica, fertilización y división celular mitótica.

El cigoto se desarrolla por división mitótica

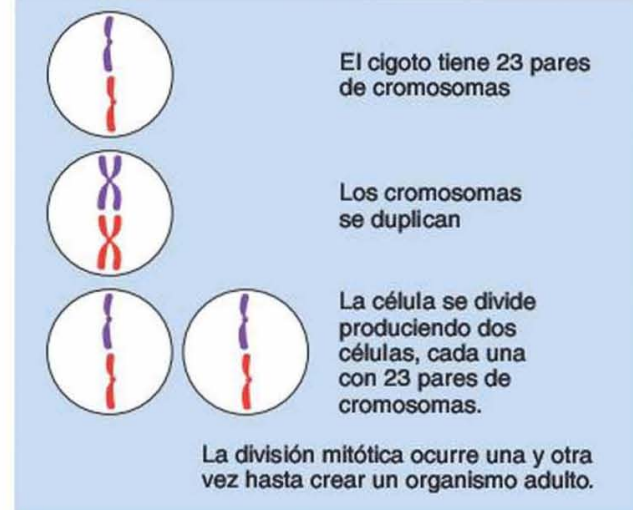


FIGURA 2.16 Entrecruzamiento genético.

El fenómeno del entrecruzamiento es importante por dos motivos. Primero, al asegurar que los cromosomas no pasan intactos de generación en generación, los entrecruzamientos aumentan la diversidad de la especie. En cierto sentido, el entrecruzamiento reordena la baraja genética antes de que los cromosomas se distribuyan aleatoriamente a la siguiente generación. Segundo, el estudio de los entrecruzamientos fue el primer medio que tuvieron los genetistas para construir **mapas genéticos**. Como cada entrecruzamiento ocurre en un punto aleatorio a lo largo del cromosoma, el grado de ligamiento entre dos genes indica lo cerca que están uno de otro. No suele darse entrecruzamiento entre genes adyacentes; sin embargo, es frecuente entre genes que se localizan en los extremos opuestos de un cromosoma.

Cromosomas sexuales y rasgos ligados al sexo

Existe una excepción a la regla de que los cromosomas siempre se encuentran por pares homólogos o idénticos. Esta excepción es la de los **cromosomas sexuales**, el par de cromosomas que determina el sexo de un individuo. Hay dos tipos de cromosomas sexuales, X e Y; y los dos tienen un aspecto diferente y contienen genes diferentes. En los mamíferos, las hembras poseen dos cromosomas X y los machos, un cromosoma X y un cromosoma Y. Los rasgos sobre los que influyen los genes de los cromosomas sexuales se denominan **rasgos ligados al sexo**. Prácticamente todos los rasgos ligados al sexo están controlados por genes del cromosoma X, ya que el cromosoma Y es pequeño y contiene pocos genes (véase Jegalian y Lahn, 2001).

Los rasgos controlados por genes del cromosoma X se dan con más frecuencia en un sexo que en otro. Si el rasgo es dominante, se da con más frecuencia en las hembras. Éstas tienen el doble de posibilidades de heredar el gen dominante porque tienen el doble de cromosomas X. En contraposición, los rasgos recesivos ligados al sexo se presentan más frecuentemente en los machos. Esto se debe a que los rasgos recesivos ligados al sexo sólo se manifiestan en hembras que poseen dos de los genes recesivos —uno en cada uno de sus cromosomas X—, mientras que los rasgos se manifiestan en todos los machos que poseen el gen ya que éstos sólo tienen un cromosoma X. El ejemplo clásico de un rasgo recesivo ligado al sexo es el daltonismo. Debido a que el gen del daltonismo es bastante infrecuente, las hembras casi nunca heredan dos de ellos y, por lo tanto, casi nunca presentan el trastorno. Por lo contrario, todos los machos que poseen un gen del daltonismo lo padecen.

Estructura del cromosoma y replicación

Cada cromosoma es una molécula de **ácido desoxirribonucleico (ADN)**, formada por dos hebras. Cada hebra es

una secuencia de **nucleótidos** adheridos a una cadena de **fosfato y desoxirribosa**. Existen cuatro nucleótidos: *adenina*, *timina*, *guanina* y *citosa*. La secuencia de estos nucleótidos en cada cromosoma es lo que constituye el código genético —así como la secuencia de letras constituye el código de nuestro lenguaje—.

Las dos hebras que componen cada cromosoma están enrolladas una alrededor de otra y unidas por la fuerza de atracción entre la adenina y la timina, y entre la guanina y la citosina. Este tipo de unión específica tiene una consecuencia importante: las dos hebras que componen cada cromosoma se complementan perfectamente una a otra. Por ejemplo, la secuencia de adenina, guanina, timina, citosina y guanina de una hebra está siempre adherida a la secuencia complementaria de timina, citosina, adenina, guanina y citosina de la otra. En la Figura 2.17 se ilustra la estructura del ADN.



FIGURA 2.17 Ilustración esquemática de la estructura de una molécula de ADN. Advértase la unión complementaria de los nucleótidos: timina con adenina y guanina con citosina.

La **replicación** es un proceso clave en la molécula de ADN. De no existir, no sería posible la división mitótica de la célula. La Figura 2.18 explica cómo se cree que ocurre la replicación del ADN (véase Losick y Shapiro, 1998). Las dos hebras de ADN empiezan a desenrollarse. A continuación, los nucleótidos de cada una de las hebras que han quedado expuestos atraen a los nucleótidos complementarios que están libres en el líquido del núcleo. Así, cuando hayan acabado de desenrollarse, se habrán producido dos moléculas de ADN de doble hebra, cada una de ellas idéntica a la original.

La replicación cromosómica no siempre procede conforme al plan establecido, puede haber errores. A veces, éstos son graves. Por ejemplo, los pacientes con *síndrome de Down*, que estudiaremos en el Capítulo 10, tienen un

cromosoma de más en cada célula. Pero es más frecuente que los errores en la duplicación consistan en **mutaciones** —alteraciones fortuitas en genes específicos—. En la mayoría de los casos, las mutaciones desaparecen del conjunto de genes tras pocas generaciones debido a que los organismos que las heredan son menos aptos. No obstante, en contadas ocasiones, las mutaciones aumentan la aptitud y contribuyen así a una rápida evolución.

Código genético y expresión de los genes

Existen distintos tipos de genes. Los mejor conocidos son los **genes estructurales** —genes que contienen la información necesaria para la síntesis de una única pro-

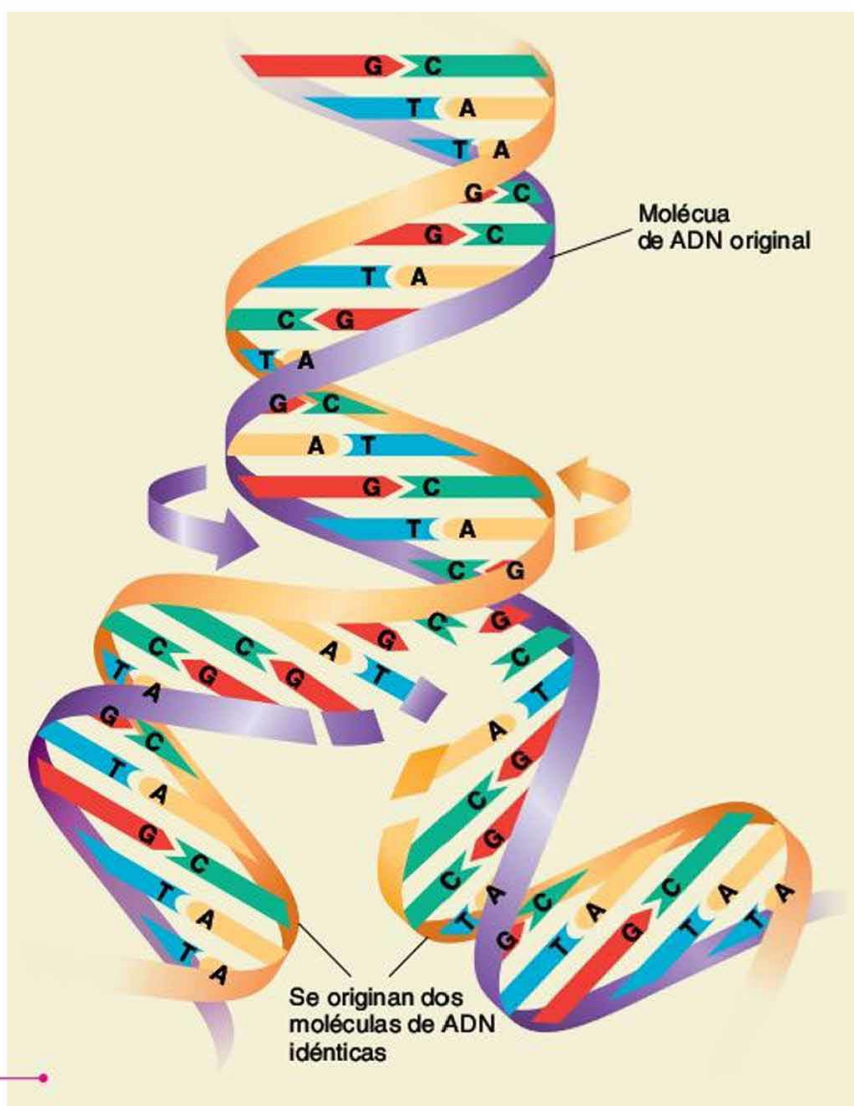


FIGURA 2.18 Replicación del ADN. A medida que se desenrollan las dos hebras de la molécula de ADN original, los nucleótidos de cada hebra atraen nucleótidos complementarios libres. Una vez que se han desenrollado totalmente, se habrán creado dos moléculas de ADN, cada una idéntica a la primera.

teína—. Las **proteínas** son largas cadenas de **aminoácidos**; controlan la actividad fisiológica de las células y son componentes importantes de la estructura celular. Todas las células del organismo (es decir, las del cerebro, las del pelo y las de los huesos) contienen exactamente los mismos genes estructurales. ¿Cómo se desarrollan, entonces, distintos tipos de células? La respuesta reside en una compleja categoría de genes, a menudo llamados **genes operadores**.

Cada gen operador controla un gen estructural o un grupo de genes estructurales relacionados. Su función consiste en determinar si cada uno de sus genes estructurales han de iniciar o no la síntesis de una proteína (esto es, si el gen estructural se *expresará* o no) y en qué medida.

El control de la **expresión genética** mediante genes operadores es un proceso importante ya que determina cómo se va a desarrollar una célula y cómo funcionará una vez que haya madurado. Los genes operadores son como interruptores, y al igual que los interruptores, pueden regularse de dos modos. Algunos están normalmente desactivados [«apagados»] y son regulados por **proteínas de unión del ADN** [o proteínas reguladoras ligantes de ADN] que los activan [«encienden»]; otros suelen estar activados y son regulados por proteínas de unión del ADN que aumentan, disminuyen o inhiben su actividad. Muchas de estas proteínas están bajo el influjo de señales que la célula recibe de su medio (véase Darnell, 1997). Éste es pues —por si aún no se le ha ocurrido al lector— el principal mecanismo mediante el cual interacciona la experiencia con los genes para influir sobre el desarrollo.

El proceso de expresión de un gen estructural se representa en la Figura 2.19, página 44. Primero, el pequeño segmento del cromosoma que contiene el gen estructural se desenrolla y este segmento de la hebra del ADN sirve como plantilla para la transcripción de una corta hebra de **ácido ribonucleico (ARN)**. El ARN es semejante al ADN, excepto en que contiene el nucleótido uracilo en vez de timina, y una cadena compuesta por fosfato y ribosa en vez de por fosfato y desoxirribosa. La hebra de ARN transcrita recibe el nombre de **ARN mensajero** debido a que transporta el código genético desde el núcleo de la célula. Una vez que ha salido del núcleo, el ARN mensajero se une a uno de los muchos **ribosomas** del *citoplasma* celular (el líquido traslúcido que hay dentro de la célula). El ribosoma entonces se desplaza a lo largo de la hebra de ARN mensajero, traduciendo el código genético a medida que avanza.

Cada uno de los grupos de tres nucleótidos consecutivos que hay a lo largo de la hebra de ARN mensajero se llama **codón**. Cada codón informa al ribosoma acerca de cuál de los 20 tipos distintos de aminoácidos debe agregar a la proteína que se está construyendo; por ejemplo, la secuencia guanina-guanina-adenina informa al ribosoma de que debe añadir el aminoácido glicina. Cada tipo de

aminoácido es transportado al ribosoma por moléculas de **ARN de transferencia**; cuando el ribosoma lee un codón, atrae una molécula de ARN de transferencia que se une al aminoácido apropiado. El ribosoma lee codón tras codón y añade aminoácido tras aminoácido, hasta que llega a un codón que le dice que se ha acabado de fabricar la proteína, momento en el que se libera dicha proteína al citoplasma. Por lo tanto, el proceso de expresión genética implica dos fases: la *transcripción* del código de la secuencia de nucleótidos del ADN en un código de la secuencia de nucleótidos del ARN, y la *traducción* de esta última en una secuencia de aminoácidos.

ADN mitocondrial

Hasta ahora, sólo hemos estudiado el ADN que compone los cromosomas del núcleo de la célula. Puede que el lector tenga la impresión de que todo el ADN está en el núcleo. No es así. Las mitocondrias celulares también contienen ADN (*ADN mitocondrial*). Las **mitocondrias** son estructuras que generan energía y se localizan en el citoplasma de la célula. Todos los genes mitocondriales se heredan de la madre.

El ADN mitocondrial interesa mucho a los científicos por dos motivos. El primero es que varios trastornos se deben en parte a una mutación del ADN mitocondrial. El segundo es que como las mutaciones parecen desarrollarse en el ADN mitocondrial a un ritmo relativamente constante, el ADN mitocondrial puede utilizarse como un reloj evolutivo (véase Kaessmann y Pääbo, 2002). Los análisis de las mutaciones del ADN mitocondrial han confirmado los datos paleontológicos de que los homínidos evolucionaron en África y se extendieron por la tierra (Wallace, 1997). (Véase la Figura 2.20 en la página 45.)

Perspectiva
evolutiva

Proyecto Genoma Humano: ¿y después qué?

Podría decirse que el proyecto científico más ambicioso de todos los tiempos se inició en 1990. Conocido como el **Proyecto Genoma Humano**, consiste en una colaboración de estructura abierta entre los principales centros de investigación y equipos investigadores independientes de varios países. El objetivo de esta colaboración fue elaborar un mapa de los tres mil millones de nucleótidos que componen los cromosomas humanos. Esta ambiciosa tarea se finalizó en el año 2001 con la publicación simultánea del primer borrador del genoma humano en *Nature* y en *Science*, dos de las revistas científicas más prestigiosas.

Quizá lo más sorprendente del genoma humano es la relativamente pequeña cantidad de genes que incluye —sólo una fracción de los nucleótidos del genoma humano forman parte de los genes clásicos que codifican

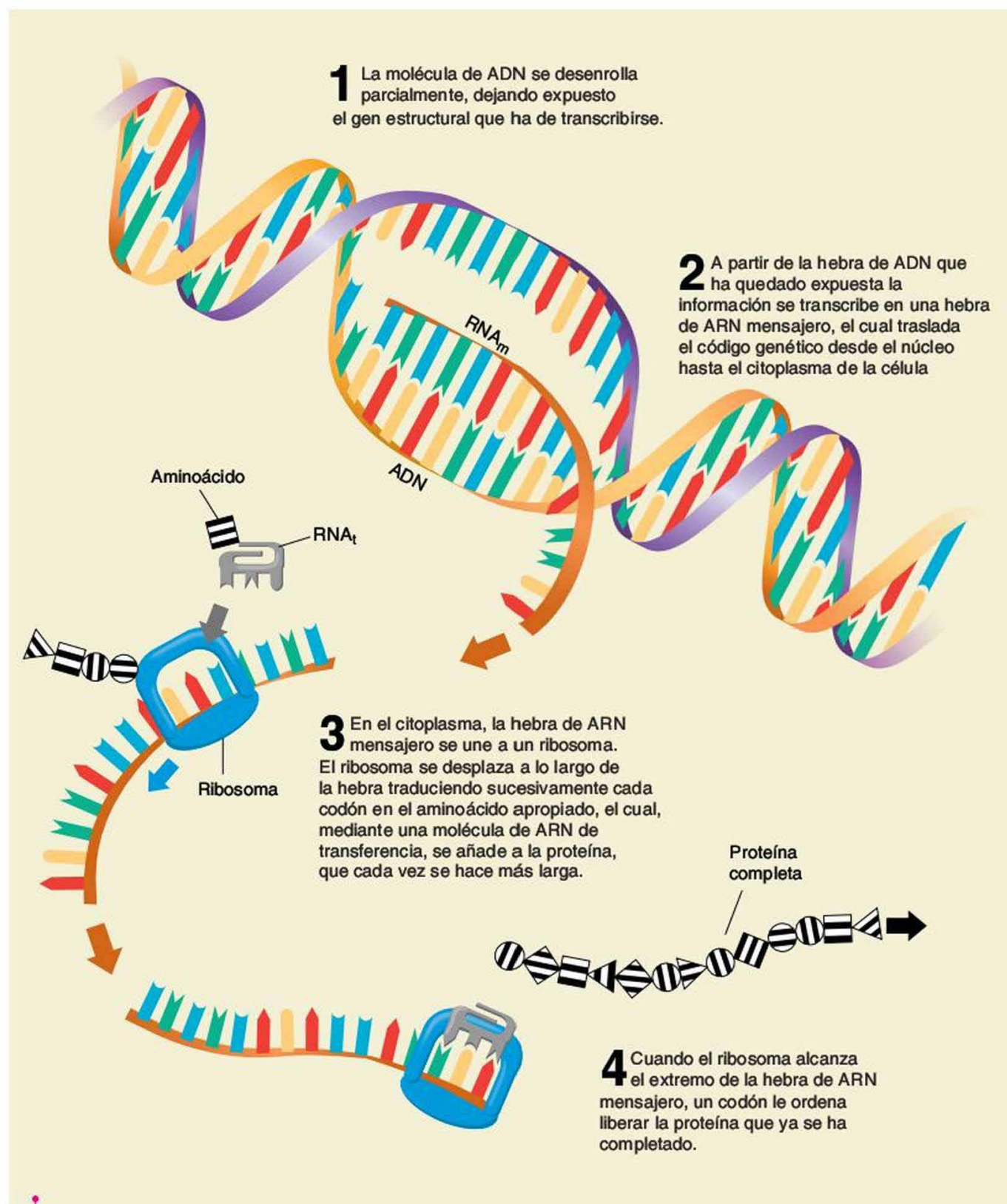


FIGURA 2.19 Expresión de un gen. A la transcripción de un segmento de ADN en una hebra complementaria de ARN mensajero le sigue la traducción de la hebra de ARN mensajero en una proteína.

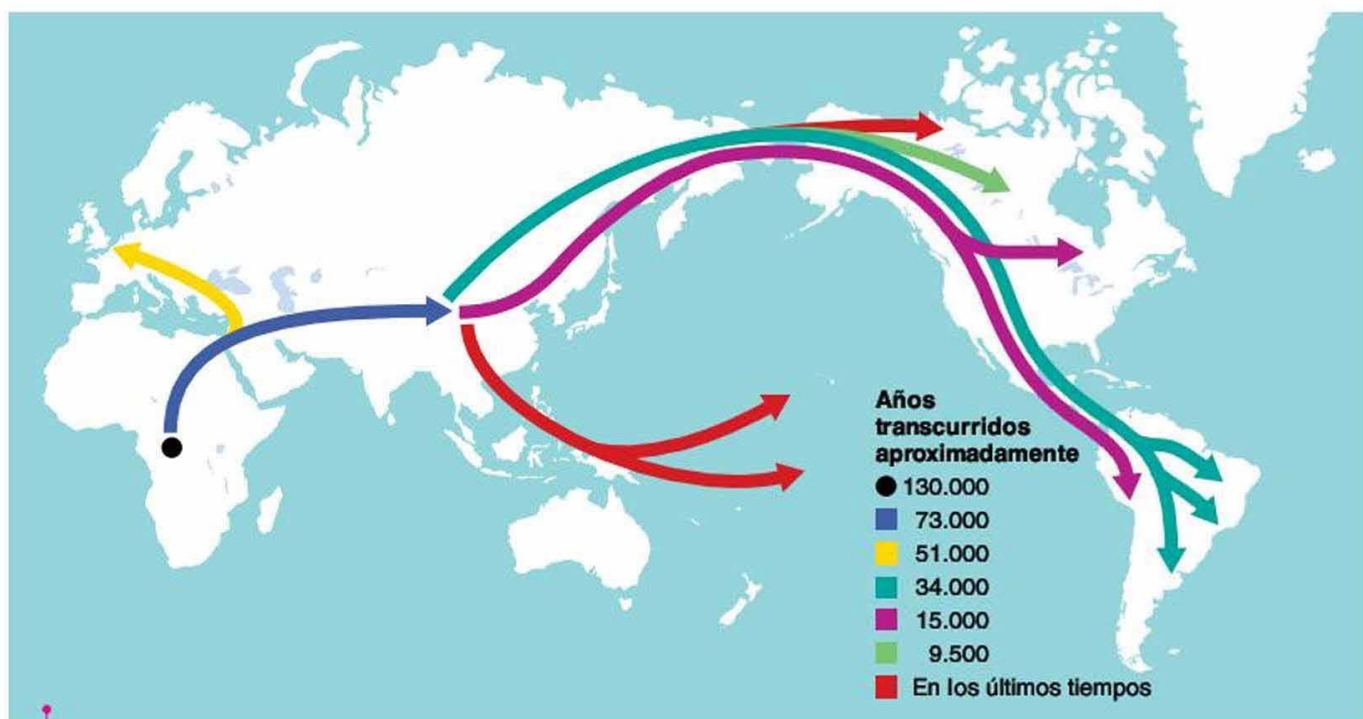


FIGURA 2.20 El análisis del ADN mitocondrial indica que los homínidos evolucionaron en África y se extendieron por la tierra en una serie de migraciones. (Adaptado de Wallace, 1997.)

proteínas—. En la actualidad se estima que la cantidad total de estos genes clásicos oscila en torno a los 34.000, sólo aproximadamente la mitad de los del genoma del ratón y sólo tres veces más de los del genoma de la mosca de la fruta. La función de los numerosos nucleótidos que no están implicados en la síntesis de proteínas sigue siendo un misterio.

La relativamente pequeña cantidad de genes humanos indica que la complejidad humana se debe a una cantidad relativamente pequeña de cambios genéticos y que la complejidad biológica evoluciona más mediante mejoras en la expresión genética que mediante un aumento de la cantidad de genes (Claverie, 2001). Esto nos traerá todo un nuevo cúmulo de enigmas biológicos y cuestiones filosóficas (Pääbo, 2001).

Muchos sobreestiman hasta qué punto el haber descifrado el genoma humano contribuirá al conocimiento del desarrollo humano. Es un gran paso, pero aún estamos muy lejos de la meta final: saber cómo contribuyen los factores genéticos a la conducta humana, en toda su complejidad y multiplicidad.

De manera que, ahora que contamos con un bosquejo del genoma humano, ¿qué viene después? La investigación sobre el genoma actualmente se centra en cinco importantes líneas de estudio (véase Plomin y McGuffin,

2003). En primer lugar, se está intentando identificar los genomas de más especies; esta investigación avanza rápidamente y nos proporcionará un contexto comparativo para interpretar los datos humanos. En segundo lugar, las investigaciones previas se ha centrado en partes del genoma humano que son comunes a todos los seres humanos; ahora, el interés va desplazándose a las muchas variaciones que se dan entre los seres humanos. En tercer lugar, se están determinando las diferencias en las pautas de expresión genética del cuerpo humano. En cuarto lugar, se está identificando la proteína que codifica cada gen humano. Y en quinto lugar, se está averiguando la función de cada proteína que codifica un gen.

Aunque alcanzar estos cinco objetivos será un logro asombroso, conseguirlo seguirá estando aún lejos de la meta final. Llegar a saber cómo influyen los genes en el desarrollo de la conducta humana requerirá saber cómo los productos de tantos genes interactúan entre sí y con la experiencia —pensando que cada atributo comportamental está controlado por un único gen es un gran, pero frecuente, error (véase Kosik, 2003) —. Hace unos cuantos años, yo hubiera asegurado que alcanzar semejante conocimiento es algo imposible, pero ahora, tras haberse identificado el genoma humano, no estoy seguro. ¿Qué opina el lector?

Reflexión crítica

Reflexión crítica



EXPLORE SU CEREBRO

Este es un buen momento para que haga una pausa con el fin de explorar su cerebro y ver si está preparado para seguir adelante. Rellene las siguientes casillas en blanco escogiendo el término más apropiado de las tres primeras secciones del capítulo.

Las respuestas correctas se dan en la parte inferior de la página. Antes de seguir adelante, revise los datos relacionados con sus errores y omisiones.

- Quiénes destacan la importancia de _____ en la controversia herencia-medio ambiente sostienen que toda conducta es aprendida.
- La idea «orgánico o psicógeno» se reconoció oficialmente en el siglo XVII cuando la Iglesia Católica autorizó el _____.
- En la teoría de Darwin, el término _____ se refiere a la capacidad de un organismo para sobrevivir y tener un gran número de descendientes fértiles.
- Una _____ es un grupo de organismos aislados desde el punto de vista reproductor.
- Se piensa que los mamíferos evolucionaron a partir de los _____ hace unos 180 millones de años.
- Existen cinco familias diferentes de primates: prosimios, monos del Nuevo Mundo, monos del Viejo Mundo, _____ y _____.
- Los _____ son los parientes evolutivos vivos más próximos de los seres humanos: tienen aproximadamente un 99% de material genético en común.
- Los primeros homínidos fueron los _____.
- Los rasgos que manifiesta un organismo constituyen su _____; los rasgos que puede transmitir a su descendencia a través de su material genético constituyen su _____.
- El grado de _____ entre dos genes indica lo cerca que están en un cromosoma.
- Cada gen estructural contiene la información para producir una única _____.
- Los genes estructurales pueden ser activados o desactivados por genes _____.
- El esfuerzo de investigación internacional a gran escala para cartografiar los cromosomas humanos se ha llamado Proyecto _____.



2.4

Evolución de la conducta: interacción de factores genéticos y experiencia

En esta sección del capítulo se presentan tres ejemplos clásicos de cómo interaccionan los factores genéticos y la experiencia para regir la ontogenia de la conducta (la **ontogenia** es el desarrollo del individuo a lo largo de su vida; en contraposición, la **filogenia** es el desarrollo evolutivo de la especie a lo largo del tiempo). Estos tres ejemplos han ejercido una influencia especialmente importante al modelar los puntos de vista actuales del desarrollo ontogénico del comportamiento. En cada ejemplo, el lector podrá comprobar que dicho desarrollo es el resultado de una interacción entre los genes y la experiencia.

Crianza selectiva de ratas «brillantes» y ratas «torpes» en el laberinto

Ya se ha visto en este capítulo que la mayoría de los primeros psicólogos asumieron que, en gran medida, la conducta se desarrolla gracias al aprendizaje. Tryon (1934) desacreditó esta idea demostrando que los rasgos conductuales pueden seleccionarse mediante crianza selectiva.

Tryon centró sus experimentos acerca de la crianza selectiva en la conducta en que se habían centrado los primeros psicólogos al estudiar el aprendizaje: cómo recorrer un laberinto las ratas de laboratorio. Empezó por entrenar a un gran grupo heterogéneo de ratas de laboratorio en recorrer un laberinto complejo; las ratas recibían comida como recompensa cuando alcanzaban la meta. Luego apareó las hembras y los machos que entraban con menor frecuencia en los brazos equivocados del laberinto durante el entrenamiento —ratas a las que llamó *brillantes en el laberinto*—. Y emparejó entre sí las hembras y los machos que entraban con más frecuencia en los brazos equivocados del laberinto durante el entrenamiento —ratas a las que llamó *torpes en el laberinto*—.

Respuestas a *Explore su cerebro*: (1) el medio ambiente, (2) dualismo cartesiano, (3) aptitud, (4) especie, (5) reptiles, (6) simios, homínidos, (7) chimpancés, (8) australopithecus, (9) fenotipo, genotipo, (10) ligamiento, (11) proteína, (12) operadores, (13) Genoma Humano.

Cuando las crías de las ratas brillantes y las de las torpes en el laberinto se hicieron adultas, se evaluó su rendimiento en el aprendizaje del laberinto. Entonces, se cruzó entre sí a las más brillantes y a las más torpes. Este procedimiento de cría selectiva se aplicó a 21 generaciones (ya aún pueden conseguirse hoy en día descendientes de las cepas originales que utilizó Tryon). Al cabo de ocho generaciones, el rendimiento en el aprendizaje del laberinto de las dos líneas de ratas apenas se solapaba. Salvo unas cuantas excepciones, las peores de la línea de ratas brillantes en el laberinto cometieron menos errores que las mejores de la línea de ratas torpes (véase la Figura 2.21).

Para controlar la posibilidad de que el buen rendimiento en recorrer el laberinto se transmitiera de algún modo de los progenitores a la descendencia a través del aprendizaje, Tryon se sirvió de un *procedimiento de referencia de adopción cruzada*: Examinó a la descendencia brillante en el laberinto que había sido criada por progenitores torpes en el laberinto, y a la descendencia torpe en el laberinto que había sido criada por progenitores brillantes en el laberinto. No obstante, los descendientes de las ratas brillantes cometieron pocos errores aunque hubiesen sido criados por ratas torpes en el laberinto y los de las ratas torpes cometieron muchos a pesar de haber sido criados por ratas brillantes.

Desde los experimentos fundamentales de Tryon sobre cría selectiva, se han generado selectivamente muchos rasgos comportamentales. De hecho, parece ser que puede generarse de manera selectiva cualquier rasgo comportamental mensurable que varíe entre los miembros de una especie.

Un aspecto general de gran importancia que han puesto de manifiesto los estudios de cría selectiva es que la cría selectiva basada en un rasgo comportamental por lo general lleva consigo muchos otros rasgos comportamentales. Esto indica que el rasgo de conducta utilizado como criterio para la cría selectiva no es el único sobre el que influyen los genes que ha aislado esta cría. De hecho, Searle (1949) comparó el rendimiento de ratas brillantes y ratas torpes en el laberinto en 30 pruebas conductuales diferentes y encontró que diferían en muchas de ellas; el conjunto de diferencias sugería que las ratas brillantes en el laberinto aprendían mejor a recorrer el laberinto no por que fueran más inteligentes, sino porque eran menos emocionales.

Los estudios de cría selectiva han demostrado que los genes influyen en el desarrollo de la conducta. Esta conclusión no implica en modo alguno que la experiencia no lo haga. Cooper y Zubek (1958) hicieron posible entender este punto en un estudio clásico de ratas brillantes

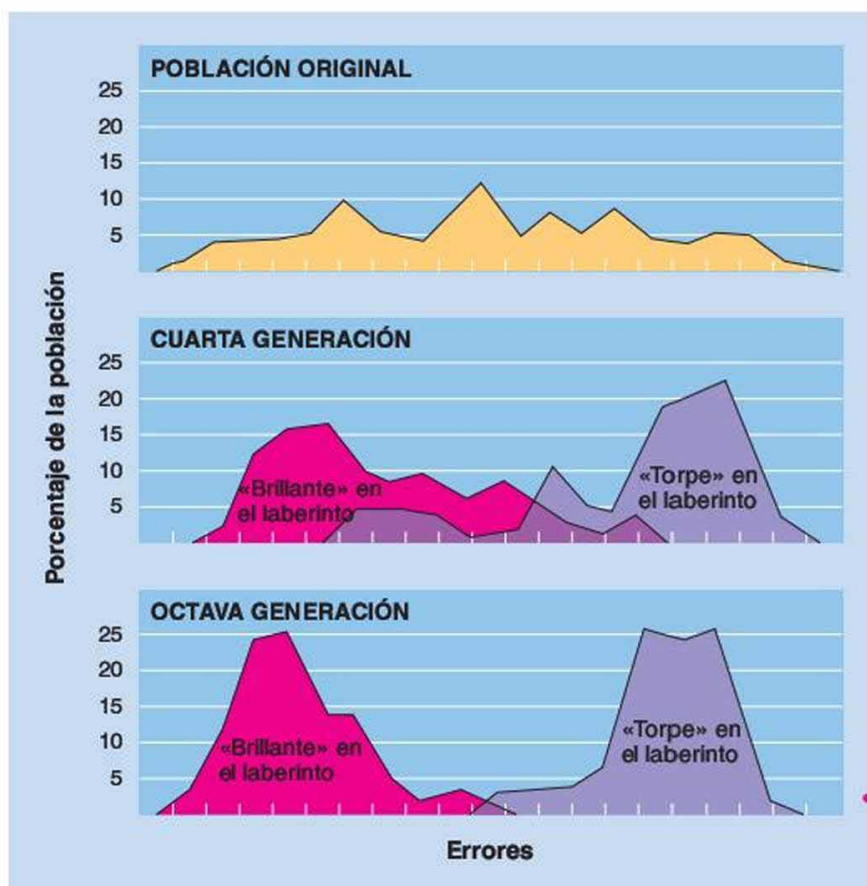


FIGURA 2.21 Crianza selectiva por Tryon (1934) de cepas de ratas con ejecución brillante o torpe en el laberinto.

y ratas torpes en el laberinto. Los investigadores criaron los dos tipos de ratas en uno de dos ambientes: (1) un ambiente con pocos estímulos [«empobrecido»] (a saber, una jaula de barrotes metálicos desprovista de estímulos), o (2) un ambiente rico en estímulos [«enriquecido»] (una jaula abastecida con túneles, rampas, dispositivos visuales y otros objetos destinados a estimular el interés). Cuando las ratas torpes en el laberinto llegaron a ser adultas tuvieron un número de errores significativamente más alto que las ratas brillantes si habían sido criadas en el ambiente empobrecido (véase la Figura 2.22). Al parecer, la crianza en un ambiente enriquecido en las primeras etapas de vida puede hacer que se superen los efectos negativos de unos genes desfavorables. En efecto, las ratas criadas en ambientes enriquecidos desarrollan una corteza cerebral más gruesa que las criadas en ambientes empobrecidos (Bennett *et al.*, 1964); al parecer, estas diferencias en el desarrollo cortical inducidas por la experiencia están mediadas por cambios en la expresión genética (Rampon *et al.*, 2000).

Fenilcetonuria: un trastorno metabólico determinado por un único gen

A menudo es más fácil comprender los aspectos genéticos de un trastorno de conducta que los de la conducta normal. La razón es que hay muchos genes que influyen en el desarrollo de un rasgo conductual normal, pero con fre-

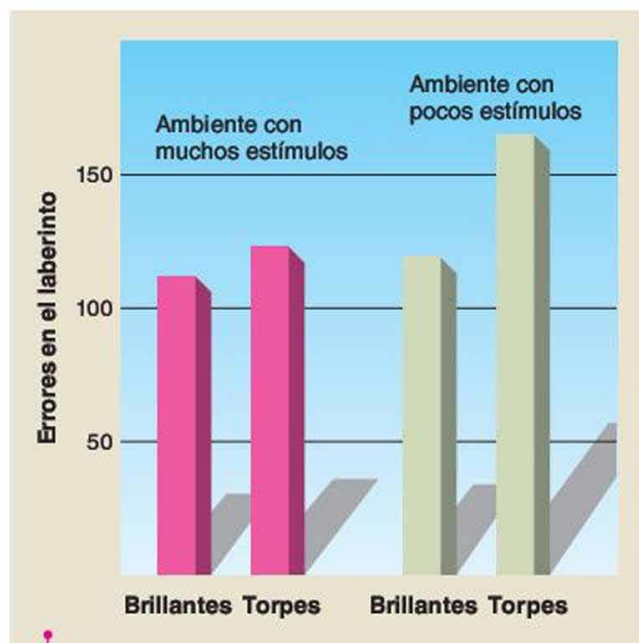


FIGURA 2.22 Las ratas «torpes» en el laberinto no tuvieron un número de errores significativamente mayor que las ratas «brillantes» si ambos grupos habían sido criados en un ambiente con muchos estímulos. (Adaptado de Cooper y Zubeck, 1958.)

cuencia basta con que exista un solo gen anómalo para desbaratar todo. Un buen ejemplo de ello es el trastorno neurológico denominado **fenilcetonuria** (FCU).

La FCU fue descubierta en 1934 cuando un dentista noruego, Asbjörn Fölling, percibió un olor peculiar en la orina de sus dos hijos retrasados mentales. Supuso, acertadamente, que el olor estaba relacionado con el trastorno que padecían e hizo analizar la orina. Se hallaron altos niveles de **ácido fenilpirúvico** en las muestras de orina de ambos. Alentado por su descubrimiento, Fölling encontró otros niños con retraso mental con niveles de ácido fenilpirúvico en orina anormalmente elevados y concluyó que este subgrupo de niños retrasados sufrían la misma alteración. Además de retraso mental, los síntomas de la FCU incluyen vómitos, hiperactividad, marcada irritabilidad y daño cerebral (Antshel y Waisbren, 2003; Sener, 2003).

El patrón de transmisión de la FCU a través del árbol genealógico de los individuos afectados indica que se transmite mediante la mutación de un único gen. Alrededor de 1 de cada 100 descendientes de europeos son portadores del gen FCU pero, debido a que dicho gen es recesivo, la FCU sólo se manifiesta en los individuos homocigóticos (los que heredan un gen FCU tanto del padre como de la madre). En Estados Unidos, 1 de cada 10.000 niños blancos nace con FCU; la incidencia es mucho más baja en los niños descendientes de africanos.

La bioquímica de la FCU resultó ser relativamente sencilla. Los individuos homocigóticos en cuanto a la FCU carecen de *fenilalanina hidroxilasa*, enzima necesaria para la conversión del aminoácido *fenilalanina* en *tirosina*. En consecuencia, la fenilalanina se acumula en el organismo; y los niveles de *dopamina*, un neurotransmisor que normalmente se sintetiza a partir de la tirosina, son bajos. El resultado es un desarrollo cerebral anómalo.

Al igual que otros rasgos comportamentales, los síntomas de la FCU son el resultado de la interacción entre factores genéticos y factores ambientales: entre el gen de la FCU y la dieta. Consecuentemente, en la mayoría de los hospitales con técnicas actuales es habitual que se analice la sangre de los recién nacidos para detectar niveles altos de fenilalanina. Si el nivel es elevado, se somete al niño de inmediato a una dieta con bajo contenido de fenilalanina; esta dieta reduce la cantidad de fenilalanina en sangre, así como la probabilidad de que se produzca retraso mental—sin embargo, no previene que se produzcan alteraciones cognitivas leves (Huijbregts *et al.*, 2002)—. Es de suma importancia cuándo se inicia el tratamiento. La dieta pobre en fenilalanina no reduce significativamente el riesgo de retraso mental en homocigóticos para la FCU si no se inicia en las primeras semanas de vida. Por lo contrario, la restricción de fenilalanina en la dieta habitualmente se reduce al final de la infancia, con escasas consecuencias adversas

Implicaciones clínicas

notorias. La etapa del desarrollo, por lo general una edad temprana, durante la cual una experiencia determinada ha de ocurrir para que tenga un efecto importante sobre el desarrollo de un rasgo, es el **período sensible** [o de susceptibilidad] a ese rasgo.

Evolución del canto de los pájaros

En primavera, los trinos de los pájaros cantores macho amenazan a los congéneres macho intrusos y atraen a las posibles parejas (Mennill, Ratcliffe y Boag, 2002). Los machos de cada especie tienen cantos parecidos que pueden distinguirse fácilmente de los de otras especies, y pueden reconocerse dialectos locales en cada especie (véase Ball y Hulse, 1998).

Los estudios del desarrollo ontogenético del canto de los pájaros sugieren que esta conducta se desarrolla en dos fases (véase Mooney, 1999). La primera, llamada **fase sensorial**, comienza varios días después de que el pajarillo salga del cascarón. Aunque éste no canta durante dicha fase, graba en su memoria los cantos de los adultos que escucha —por lo general, cantados por sus parientes macho—, que más adelante guiarán el desarrollo de su propio canto. Los jóvenes macho de muchas especies de pájaros cantores están dotados genéticamente para aprender los cantos de su propia especie durante la fase sensorial. No pueden aprender fácilmente los cantos de otras especies, ni los de su propia especie si no los escuchan durante la fase sensorial. Los machos que no escuchan los cantos de su propia especie en una etapa temprana de su vida pueden desarrollar la capacidad de cantar más adelante, pero es probable que su canto sea muy anómalo, con sólo unas cuantas características reconocibles de los cantos de los pájaros maduros de su especie.

La segunda fase del desarrollo del canto del pájaro, la **fase sensitivomotriz**, empieza cuando los machos jóvenes empiezan a gorjear «subcantos» (los cantos inmaduros de las aves jóvenes), habitualmente cuando tienen unos cuantos meses. Durante esta fase, las vocalizaciones inconexas de los subcantos se van refinando poco a poco hasta que se asemejan a los trinos de los que antes fueron sus maestros adultos. Para que se desarrolle el canto durante la fase sensitivomotriz se requiere una retroalimentación auditiva: a no ser que los pájaros jóvenes puedan escuchar su propio canto, sus «subcantos» no se convertirán en trinos adultos (Troyer y Bottjer, 2001). Sin embargo, una vez que el canto adulto estable ha cristalizado, los pájaros cantores son mucho menos dependientes de la escucha para producir un canto normal; los efectos perjudiciales de la sordera sobre el canto adulto suelen ser menos graves, y se requieren varios meses para que se lleven a cabo por completo (Lombardino y Nottebohm, 2000).

A la hora de retener en la memoria los cantos adultos cristalizados iniciales, existen dos pautas frecuentes de

conducta entre las especies de pájaros cantores. La mayoría de las especies cantoras, como los tan estudiados pinzones cebrá y los gorriones de corona blanca son *aprendices con límite de edad*; en estas especies, una vez que el canto adulto ha cristalizado permanece invariable durante toda su vida. Por lo contrario, determinadas especies son *aprendices sin plazo definido*: pueden añadir nuevos cantos a su repertorio a lo largo de toda su vida. Por ejemplo, cuando termina cada época de celo los canarios macho vuelven a pasar de un período de canto estable a uno de canto plástico —un período durante el que pueden incorporar nuevos cantos para la próxima época de celo—. En la Figura 2.23 se representan los pinzones cebrá macho (*aprendices con límite de edad*) y los canarios macho (*aprendices sin plazo definido*).

La Figura 2.24 es una versión simplificada del circuito neural que controla el canto en el canario. Consta de elementos principales: la vía motora descendente y la vía prosencefálica anterior. La *vía motora descendente* procede del centro vocal superior, localizado en cada lado del cerebro, llega hasta la siringe (glotis) homolateral, e interviene en la producción del canto. La *vía del prosencéfalo anterior* participa en el aprendizaje del canto (Doupe, 1993; Vicario, 1991).

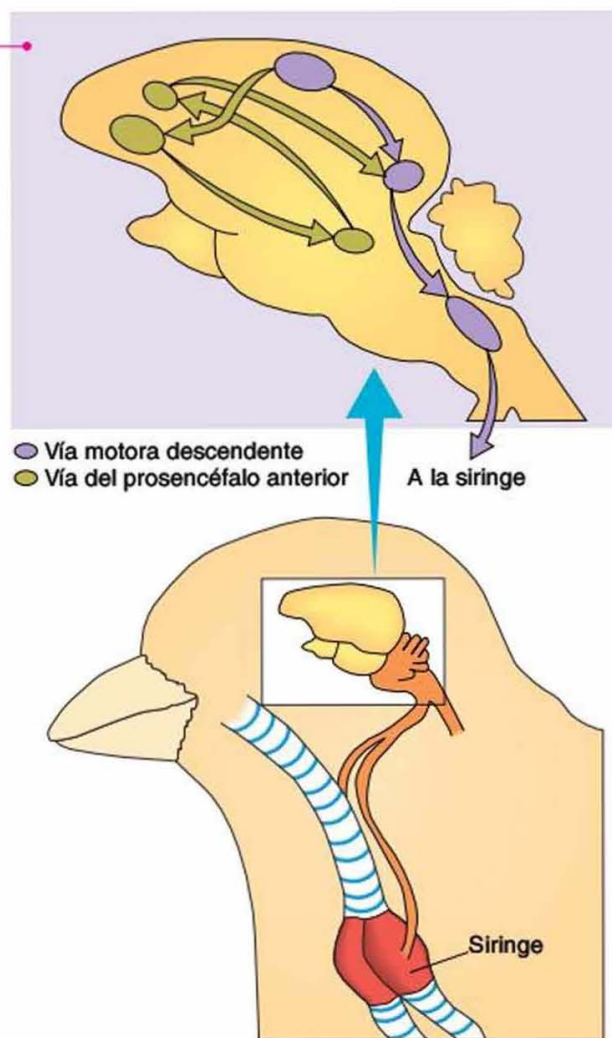
El circuito del canto en los canarios destaca por cuatro aspectos (véase Mooney, 1999). Primero, la *vía motora descendente* izquierda desempeña una función más importante en el canto que la derecha (lo que reproduce la superioridad del hemisferio izquierdo en el control del lenguaje en los seres humanos). Segundo, el centro vocal superior es cuatro veces más grande en los canarios macho que en los canarios hembra (véase MacDougall-Shackleton y Ball, 1999). Tercero, cada primavera, cuando el macho



FIGURA 2.23

Los estudios sobre el desarrollo del canto de los pájaros utilizan habitualmente como sujetos pinzones cebrá macho (*aprendices con límite de edad*) y canarios macho (*aprendices sin plazo definido*). (Ilustración amablemente aportada por *Trends in Neuroscience*; fotografía original de Arturo Álvarez Buyla.)

FIGURA 2.24 Circuito neural que media la producción y el aprendizaje del canto en el canario macho.



prepara su nuevo repertorio de cantos para seducir durante el verano, las estructuras cerebrales de control del canto duplican su tamaño, y no vuelven a reducirse hasta el otoño; este estallido primaveral de crecimiento cerebral y de canto está desencadenado por el aumento del nivel de testosterona, provocado por la progresiva cantidad de luz durante el día (Tramontin y Brenowitz, 2000). Y cuarto, el aumento estacional del tamaño de las estructuras cerebrales que controlan el canto se debe a una proliferación de nuevas neuronas, no a que aumente el tamaño de las ya existentes (Tramontin, Hartman y Brenowitz, 2000) —este descubrimiento fue uno de los primeros ejemplos que se encontraron de que existe *neurogénesis* (proliferación de nuevas neuronas) en los adultos.

2.5

Genética de las diferencias psicológicas humanas

Este capítulo se ha centrado en tres aspectos: la evolución humana, la genética y la interacción de la genética y la experiencia en el desarrollo ontogenético de los rasgos psicológicos. Los tres aspectos convergen en una pregunta fundamental: ¿por qué somos como somos? El lector ha aprendido que cada uno de nosotros es el resultado de la interacción entre los genes y la experiencia, y que los efectos de los genes y de la experiencia sobre el desarrollo del individuo son inseparables —recuérdese la metáfora del montañero amante de la música y la guaira peruana—. Dado que a lo largo del capítulo he insistido en dichos puntos en cada oportunidad, estoy seguro de que el lector ahora ya los tendrá en cuenta. No obstante, los planteo una última vez ya que el apartado final de este capítulo se centra en un tema evolutivo que es básicamente distinto de los que hemos estado examinando.

Desarrollo de los individuos comparado con desarrollo de las diferencias entre individuos

Hasta aquí, este capítulo se ha ocupado del desarrollo de los individuos. El resto del capítulo trata del desarrollo de las diferencias entre los individuos. En el desarrollo del individuo, los efectos de los genes y los de la experiencia no pueden separarse. En el desarrollo de las diferencias entre individuos, sí pueden separarse. Esta distinción es sumamente importante, pero a muchos les desconcierta. Retomemos la metáfora del montañero y la guaira para explicarlo.

La música que suena cuando un músico determinado toca la guaira es resultado de la interacción entre el músico y la guaira, y no tiene sentido preguntarse en qué pro-

porción la música se debe al músico y en qué proporción se debe a la guaira. Sin embargo, si evaluáramos cómo interpretan la guaira una amplia muestra de individuos, podríamos estimar estadísticamente el grado en el que las diferencias entre ellos respecto a la calidad de su música se ha debido a diferencias entre los propios músicos en contraposición a diferencias entre sus instrumentos. Por ejemplo, si seleccionamos al azar 100 peruanos y les hacemos a cada uno de ellos una prueba de calidad profesional de interpretación de guaira, probablemente hallaremos que la mayor parte de la variabilidad en la calidad de la música proviene de diferencias entre los individuos, al ser algunos intérpretes expertos y otros no haber tocado nunca antes. Del mismo modo, los investigadores pueden seleccionar un grupo de sujetos y preguntarse qué parte de la variabilidad entre ellos en determinado atributos (p.ej., la inteligencia) proviene de diferencias genéticas en contraposición a diferencias de experiencia.

Para determinar la contribución relativa de los genes y de la experiencia al desarrollo de diferencias en los atributos psicológicos, los genetistas de la conducta estudian individuos con un grado de semejanza genética conocida. Por ejemplo, a menudo comparan **gemelos univitelinos** (gemelos monocigóticos [también llamados a veces gemelos idénticos]), los cuales se han desarrollado a partir del mismo cigoto y, por lo tanto, son genéticamente idénticos; con **gemelos bivitelinos** (gemelos dicigóticos [también llamados a veces gemelos fraternales]), que se han desarrollado a partir de dos cigotos y, por lo tanto, no tienen más semejanzas entre ellos que cualquier par de hermanos. Los estudios sobre parejas de gemelos univitelinos y bivitelinos que han sido criados por separado durante su infancia al haber sido adoptados aportan mucha información sobre la contribución relativa de la genética y de la experiencia al desarrollo de las diferencias psicológicas humanas. El más amplio de éstos es el Estudio Minnesota de gemelos criados por separado (véase Bouchard y Pedersen, 1998).

EN EL CD

Consulte el módulo *Estudios de gemelos* para conocer las investigaciones sobre gemelos.



Estudio Minnesota de gemelos criados por separado

En este estudio participaron 59 parejas de gemelos univitelinos y 47 parejas de gemelos bivitelinos que habían sido criados por separado, así como la misma cantidad de parejas de gemelos univitelinos y bivitelinos que habían sido criados juntos. Su edad estaba comprendida entre los 19 y los 68 años. Se llevó a los gemelos a la Universidad de Minnesota para someterles a unas 50 horas de pruebas, centradas en evaluar su nivel de inteligencia y su personalidad. ¿Se probaría que los gemelos univitelinos adultos

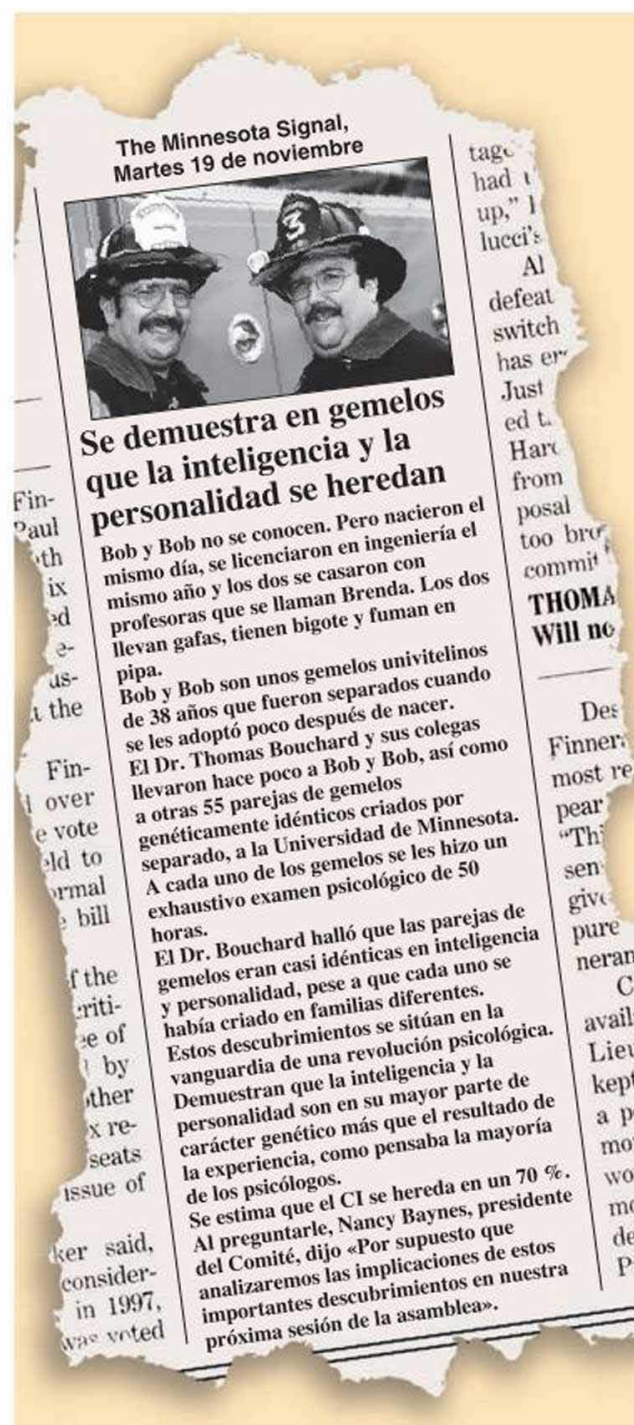
criados por separado son semejantes porque son genéticamente idénticos, o que son diferentes porque han sido criados en entornos familiares distintos?

Los resultados del estudio de Minnesota de gemelos criados por separado demostraron ser extraordinariamente consistentes —tanto en cuanto a consistencia interna, entre las diversas dimensiones cognitivas y de personalidad que se estudiaron; como a consistencia externa, con respecto a los hallazgos de otros estudios similares—. En líneas generales, se comprobó que los gemelos univitelinos adultos eran bastante más similares entre sí en todas las dimensiones psicológicas de lo que lo eran los gemelos bivitelinos adultos, ya hubiesen sido criados o no los dos gemelos de la pareja en el mismo entorno familiar (véase Turkheimer, 2000). El atributo psicológico más estudiado de los gemelos ha sido el nivel de inteligencia general (evaluado mediante la Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler); la Figura 2.25 ilustra la tendencia general de los datos que se han encontrado (véase Bouchard, 1998).

Los resultados del estudio Minnesota han sido muy divulgados en la prensa popular. Desafortunadamente, con frecuencia se ha tergiversado el significado de los resultados. En ocasiones, la distorsión de los datos científicos por parte de la prensa popular no tiene importancia —al menos, no mucha—. Éste no es uno de esos casos. Las falsas creencias de la gente acerca de los orígenes de la inteligencia y la personalidad humanas a menudo se traducen en actitudes y costumbres de discriminación social. El siguiente recorte de prensa ilustra cómo se han distorsionado ante el público los resultados del estudio Minnesota.

Esta noticia puede inducir a error de cuatro maneras. Al lector no debería costarle trabajo descubrir la primera: está imbuida de la idea herencia o ambiente y de todos los conceptos erróneos asociados. En segundo lugar, al centrarse en las semejanzas entre Bob y Bob, la noticia da la impresión de que ambos (y las otras parejas de gemelos univitelinos criados por separado) son idénticos en el plano cognitivo. No lo son. Es fácil elaborar una lista de semejanzas entre dos personas si se les hace un número suficiente de preguntas y no se tienen en cuenta las diferencias entre ellos. En tercer lugar, la historia produce la impresión de que los resultados del estudio Minnesota son revolucionarios. Al contrario, la importancia del estudio Minnesota reside principalmente en que representa una confirmación especialmente rigurosa de los resultados de estudios de adopción previos. En cuarto lugar, y lo que es más importante, la noticia da la falsa impresión de que los resultados del estudio Minnesota hacen alguna aportación general interesante sobre la contribución relativa de los genes y de la experiencia al desarrollo de la inteligencia y de la personalidad de los individuos. No lo hacen, ni lo hacen los resultados de ningún otro estudio de adop-

Reflexión crítica



ción. Es cierto que Bouchard y sus colaboradores determinaron que la heredabilidad del cociente de inteligencia es de 0,70, pero no concluyeron que éste fuera de carácter genético en un 70%. Un **cálculo de heredabilidad** no se refiere al desarrollo del individuo; es una apreciación numérica aproximada de la proporción de variabilidad que presenta un rasgo concreto en un estudio concreto, como resultado de la variabilidad genética en dicho estudio (véase

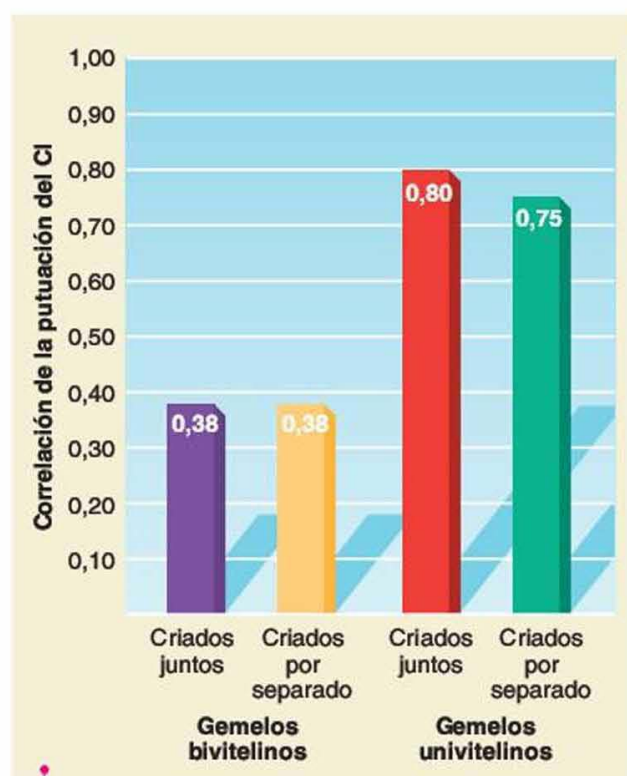


FIGURA 2.25 Correlaciones entre el cociente de inteligencia (CI) de gemelos univitelinos y bivitelinos, criados juntos o por separado.

Plomin y De Fries, 1998). Así pues, un cálculo de heredabilidad nos informa de la contribución de las diferencias genéticas a las diferencias fenotípicas entre sujetos; no dice nada acerca de la contribución relativa de los genes y de la experiencia al desarrollo de los individuos.

El concepto de cálculo de heredabilidad puede resultar bastante confuso. Sugiero que el lector se detenga un momento y piense detenidamente en la definición. El ejemplo de la guaira puede ayudarle.

La trascendencia de un estudio sobre el cálculo de heredabilidad depende de la cantidad de variabilidad genética y ambiental a partir del cual se ha calculado, y no puede aplicarse a otro tipo de situaciones. Por ejemplo, en el estudio Minnesota la variabilidad ambiental era relativamente baja. Todos los sujetos habían sido criados en países industrializados (p.ej., Gran Bretaña, Canadá y Estados Unidos) por padres que cumplían los estrictos criterios requeridos para la adopción. En consecuencia, la mayor parte de la variabilidad en inteligencia y personalidad de los sujetos se debía a una variabilidad genética. Si los gemelos hubiesen sido adoptados por separado por la realeza europea, bosquimanos africanos, gitanos húngaros, estrellas del rap de Los Ángeles, ejecutivos publicitarios londinenses y oficiales militares argentinos, el índice de heredabilidad del cociente de inteligencia [CI] y de per-

sonalidad resultante hubiera sido probablemente más bajo. Bouchard y colaboradores insisten en ello en sus publicaciones. Por el momento, los estudios de crianza selectiva de animales de laboratorio y los estudios sobre gemelos en seres humanos no han revelado diferencias psicológicas que no tuvieran un componente genético significativo—incluso en gemelos de más de 80 años (Dick y Rose, 2002; McGuffin, Riley y Plomin, 2001)—. De hecho, a medida que crecen entre la infancia y la adolescencia los niños adoptados se van pareciendo cada vez más a sus padres biológicos en cuanto a capacidad cognitiva (Plomin *et al.*, 1997).

Una cuestión, que frecuentemente se pasa por alto, acerca de la importancia de los factores genéticos en el desarrollo de las diferencias psicológicas entre seres humanos es que las diferencias genéticas inducen diferencias psicológicas al influir sobre la experiencia (véase Plomin y Neiderhiser, 1992). Al principio esta afirmación resulta sorprendente, ya que estamos acostumbrados a pensar en los genes y en la experiencia como influencias evolutivas independientes. Sin embargo, en la actualidad existen muchas pruebas de que los individuos con una dotación ge-

nética similar tienden a buscar ambientes y experiencias similares. Por ejemplo, los individuos cuya dotación genética les inclina a la agresividad son más propensos a implicarse en actividades agresivas (por ejemplo, fútbol o luchas competitivas), y estas experiencias contribuyen al desarrollo de tendencias agresivas.

Antes de acabar este capítulo, tengo un estudio más que presentar, uno de Turkheimer y colaboradores (2003). Espero que el lector se tome tiempo para reflexionar sobre sus implicaciones. Sus hallazgos desafían de un modo tan sencillo y convincente la confusa idea sobre la interpretación del cálculo de heredabilidad que considerarlos agudizará sin duda su ingenio. Turkheimer y sus colegas estudiaron la heredabilidad del CI en una muestra de gemelos de 7 años. A diferencia de otros estudios que se han expuesto en el presente capítulo, éste se centró en la heredabilidad del CI en función del nivel socioeconómico. Sorprendentemente, el cálculo de heredabilidad del CI entre los gemelos más pobres de la muestra se situó en torno a 0, mientras que entre los gemelos adinerados estuvo cerca del 1,00. ¿Qué opina el lector sobre estos datos y sus implicaciones respecto a la política social?

Revisión de los temas

Este capítulo nos ha introducido en temas de evolución, genética y desarrollo, pero su punto de convergencia era pensar con claridad acerca de la biología de la conducta. No es de extrañar pues que de los cuatro temas principales de este libro se le haya dedicado más atención al de reflexionar acerca de la biopsicología. En este capítulo se han escogido varias cuestiones biopsicológicas en las que tiende a haber una marcada confusión de ideas y se ha tratado de convencer al lector de que existen maneras más acertadas de enfocarlos. Con las lengüetas de «reflexión crítica» sobre la biopsicología se han señalado las partes de este capítulo donde se le anima a agudizar su ingenio sobre la dicotomía orgánico o psicógeno, el debate herencia o ambiente, la evolución humana, las implicaciones biopsicológicas del Proyecto Genoma Humano, así como los aspectos genéticos de las diferencias psicológicas entre seres humanos.

Reflexión crítica

Asimismo, este capítulo se ha ocupado de dos de los otros temas de este libro, los cuales se han marcado con la lengüeta correspondiente. La perspectiva evolutiva se ha explicado mediante la investigación comparativa de la consciencia de sí mismos en chimpancés, la tentativa de entender la elección de pareja en seres humanos y la utilización del ADN mitocondrial para estudiar la evolución humana. El tema de las implicaciones clínicas se ha ilustrado con el caso del hombre que se cayó de la cama y el análisis de la fenilcetonuria (FCU).

Perspectiva evolutiva

Implicaciones clínicas

EN EL CD

Para lecturas relacionadas con el Capítulo 2, véase la copia impresa.

Cuestiones para reflexionar

1. El punto de vista herencia o ambiente sobre la inteligencia se ha utilizado a veces como excusa para la discriminación racial. ¿Cómo podría emplearse el enfoque

interaccionista, tan defendido en este capítulo, como base para argumentar en contra de estas costumbres discriminatorias?

- Imagine que es profesor de biopsicología. Uno de sus alumnos le pregunta si la depresión es algo orgánico o psicógeno. ¿Qué le diría?
- La genética moderna puede prevenir la tragedia de una vida predestinada por la herencia; ahora se pueden examinar los embriones para detectar determinadas enfermedades genéticas. Pero ¿qué constituye una enfermedad?, ¿deberían

EN EL CD

¿Estudiando para un examen? Intente hacer los ejercicios de práctica del Capítulo 2.



utilizarse las pruebas genéticas para escoger las características de un niño? De ser así, ¿qué características?

- En el año 2030, una importante compañía exige que todos sus eventuales empleados se hagan una prueba genética. A raíz de ello, algunos pierden su trabajo y otros no son aceptados por la compañía de seguro médico. Discútase.
- Discuta la frase: «Todos los hombres somos iguales».

Palabras clave

Ácido desoxirribonucleico (ADN), 41
 Ácido fenilpirúvico, 48
 Ácido ribonucleico (ARN), 43
 Alelos, 38
 Aminoácidos, 43
 Análogo, 34
 Anfibios, 30
 Aptitud, 27
 ARN mensajero, 43
 ARN de transferencia, 43
 Asomatognosia, 23
 Cálculo de heredabilidad, 52
 Cerebro, 34
 Cigoto, 38
 Circunvoluciones, 35
 Codón, 43
 Conductas instintivas, 23
 Congéneres, 29
 Cordados, 29
 Cromosomas, 38

Cromosomas sexuales, 41
 Debate herencia-ambiente, 22
 Dualismo cartesiano, 22
 Entrecruzamiento genético, 39
 Especie, 29
 Etología, 23
 Evolución convergente, 34
 Evolucionar, 27
 Exaptación, 34
 Expresión genética, 43
 Fase sensitivomotriz, 49
 Fase sensorial, 49
 Fenilcetonuria (FCU), 48
 Fenotipo, 38
 Filogenia, 46
 Gametos, 38
 Gemelos bivitelinos, 51
 Gemelos univitelinos, 51
 Gen, 38
 Genes estructurales, 42
 Genes operadores, 43

Genotipo, 38
 Heterocigótico, 38
 Homínidos, 30
 Homocigótico, 38
 Homólogo, 34
 Ligamiento, 38
 Líneas reproductoras puras, 37
 Mamíferos, 30
 Mapas genéticos, 41
 Meiosis, 38
 Mitochondrias, 43
 Mitosis, 38
 Monogamia, 36
 Mutaciones, 42
 Nucleótidos, 41
 Ontogenia, 46
 Período sensible, 49
 Poliandria, 36
 Poligamia, 36
 Primates, 30
 Proteínas, 43

Proteínas de unión del ADN, 43
 Proyecto Genoma Humano, 43
 Rasgo dominante, 38
 Rasgo recesivo, 38
 Rasgos dicotómicos, 37
 Rasgos ligados al sexo, 41
 Replicación, 42
 Ribosomas, 43
 Selección natural, 27
 Spandrels [enjutas], 34
 Tronco del encéfalo, 34
 Vertebrados, 29
 Zeitgeist, 22

EN EL CD

¿Necesita ayuda para estudiar las palabras clave de este capítulo? Revise las fichas informáticas breves del Capítulo 2.

