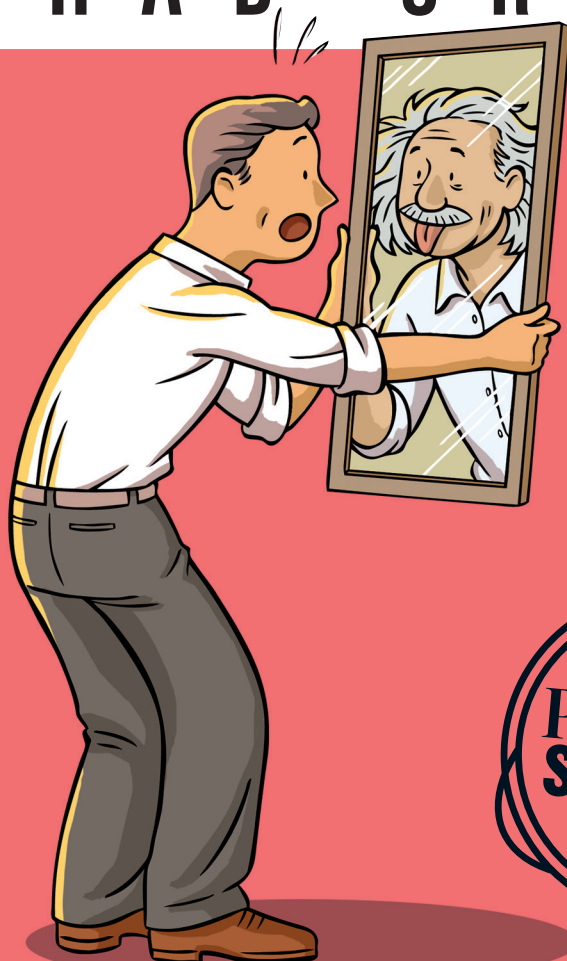


¡EUREKA!

DESCUBRE AL CIENTÍFICO
QUE LLEVAS DENTRO

CHAD ORZEL



¡EUREKA!

DESCUBRE AL CIENTÍFICO
QUE LLEVAS DENTRO

CHAD ORZEL



Traducción de
Julia Alquézar

Título original: *Eureka!: Discovering Your Inner Scientist*

Publicado originalmente por Basic Books, miembro de Perseus Books Group

1.ª edición: junio de 2015

© 2014, Chad Orzel

© 2015, de la traducción: Julia Alquézar

Derechos exclusivos de edición en español
reservados para todo el mundo:

© 2015: Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

Editorial Ariel es un sello editorial de Planeta, S. A.

www.ariel.es

ISBN 978-84-344-2231-5

Depósito legal: B. 10.761 - 2015

Impreso en España por Huertas Industrias Gráficas

El papel utilizado para la impresión de este libro
es cien por cien libre de cloro y está calificado como **papel ecológico**.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita
fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com
o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Índice

<i>Introducción:</i> Descubre al científico que llevas dentro	9
PASO UNO: OBSERVAR	23
Capítulo 1: Recopilando el origen de las especies.....	25
Capítulo 2: El apogeo de la cocina científica.....	45
Capítulo 3: Agujas en pajares.....	65
Capítulo 4: Wally en el zoo galáctico	83
PASO DOS: PENSAR	105
Capítulo 5: Preparando la tabla periódica	107
Capítulo 6: Hacer las preguntas permitidas: El bridge y el pensamiento científico	127
Capítulo 7: Dinosaurios y misterios	147
PASO TRES: COMPROBAR	163
Capítulo 8: Crucigramas cuánticos	167
Capítulo 9: Repostería de precisión	183
Capítulo 10: Como el ajedrez, pero sin dados. El pensamiento científico y los deportes	205
PASO CUATRO: DIFUNDIR	229
Capítulo 11: La narrativa científica.....	231
Capítulo 12: ¿Qué podemos hacer? ¡Equipo! La ciencia en colaboración	257

Capítulo 13: Hablemos de deportes	277
Capítulo 14: Mentiras cochinas y estadísticas	299
<i>Conclusión: La ciencia nunca acaba</i>	317
<i>Agradecimientos</i>	341
<i>Índice alfabético</i>	343

Capítulo 1

Recopilando el origen de las especies

Toda la ciencia es o bien física o bien coleccionismo de sellos.

ERNEST RUTHERFORD

Uno de los pasatiempos más habituales es el coleccionismo de objetos. Con casi total seguridad, cuando un objeto se presenta en más de una variedad, habrá alguien que lo colecciona y, probablemente, al menos un foro de Internet en el que se discutirán todos los detalles del objeto en cuestión.

El anhelo de coleccionar puede aparecer muy pronto. En cierta ocasión, nuestra hija pasó varias semanas reuniendo una colección de piedras. Por supuesto, como tenía cuatro años en ese momento, no se podía decir que seleccionara —la mayoría de sus rocas eran guijarros de grava que cogía de nuestro jardín—, pero se lo tomó muy en serio. Como cualquier padre sabrá, los fabricantes de juguetes han sabido explotar esta afición y producen en masa todo tipo de objetos —cromos, pegatinas, sellos, figuritas de plástico, tazas y platos— con imágenes de personajes populares, para animar a los niños a coleccionar todas las variantes por unos cuantos dólares cada una.

Aunque muchos coleccionables están dirigidos a los niños, millones de adultos tienen como afición coleccionar. Algunas de las cosas que se coleccionan y se intercambian son recordatorios de la infancia, como cromos de béisbol y juguetes, que persiguen con el mismo afán coleccionistas adultos y niños. En

otros casos, la barrera entre edades se difumina, como ocurre con autógrafos, recuerdos deportivos y cómics. Sin embargo, hay otras colecciones que son casi completamente cosas de adultos: tenía una tía abuela que pasó décadas coleccionando campanillas de porcelana, y otras personas coleccionan vajillas, cristalerías, figuras de porcelana y todo tipo de objetos frágiles y decorativos. Ciertos objetos se coleccionan por su valor intrínseco, como el arte y las antigüedades —muchos museos estu- pendos se originaron con esta afición—, pero en la mayoría de las ocasiones, los coleccionistas acumulan cosas por el simple placer de hacerlo.

Probablemente la afición icónica de este tipo es el coleccionismo de sellos, y que tiene tanta tradición que el físico Ernest Rutherford lo mencionó en torno al año 1900, cuando indagó en otras ciencias (citado al principio de este capítulo).¹ Esta afición es lo suficientemente respetable como para tener un nombre latino.² Está muy extendida y muy arraigada en un amplio abanico de edades, pues la American Philatelic Society cuenta con más de quinientos clubes de coleccionistas de sellos locales en Estados Unidos, y más de 650 distribuidores registrados. Algunos sellos particularmente raros o importantes se han vendido en subastas por millones de dólares. Entre los coleccionistas de sellos más famosos podríamos citar a jefes de Estado (el presidente de Estados Unidos, Franklin Roosevelt, y el rey Jorge V de Gran Bretaña), autores (Ayn Rand) y artistas (tanto Freddie Mercury como John Lennon tuvieron colecciones de sellos de niños, y que ahora

1. Curiosamente, cuando Rutherford recibió el Premio Nobel por su descubrimiento de la transmutación de elementos a través de la desintegración radiactiva, el premio fue de química y no de física. Se lo tomó con humor, pues llegó a bromear diciendo: «He estudiado muchas transformaciones diferentes en varios periodos de tiempo, pero la más rápida que me he encontrado ha sido mi propia transformación en un momento de físico a químico». Hablaremos más sobre Rutherford en el capítulo 8.

2. La *filatelia* se define concretamente como el estudio de sellos, pero muchos coleccionistas de sellos se consideran filatélicos. En la puerta del laboratorio en el que trabajaba en la escuela de posgrado, estaba colgado un póster con esta cita de Rutherford; como respuesta, otro científico del edificio cambió la placa oficial de la puerta por otra en la que se podía leer «Laboratorio de filatelia de NIST».

se guardan en museos postales del Reino Unido y en Estados Unidos, respectivamente).

Como muchos niños, tuve una colección de sellos durante un tiempo. Nunca llegué a tener ninguna pieza especialmente notable, pero revisar viejas cartas y cajas de sellos de colecciones de parientes me parecía una diversión tranquila. Y la imagen de conjunto que obtenía al reunir todos los sellos era fascinante. Recuerdo una carpeta de tres aros, intimidante y grande, con huecos reservados para todos los sellos de Estados Unidos que se habían emitido hasta ese momento, y también recuerdo la satisfacción de completar una lámina. Mi afición también me proporcionó una percepción de la historia que iba más allá de la colección en sí misma, por ejemplo, ver todos los sellos de una tirada de 1893, de la serie Columbian Issue, que conmemoraba el 400.º aniversario de los famosos viajes de Cristóbal Colón, me demostró que aquella historia era mucho más de lo que me habían enseñado en la escuela.

No obstante, más allá del placer inmediato de crear una colección, el impulso de coleccionar puede ser un punto de partida para la ciencia. La consecuencia más obvia de tener como afición coleccionar es encontrarse con una variedad de objetos físicos, pero coleccionar es también un estado mental. Los coleccionistas serios desarrollan hábitos mentales particulares: una especie de conciencia permanente, aunque de bajo nivel, que les permite identificar posibles fuentes de sellos, localizar nuevos especímenes, así como reconocer las categorías valiosas de sellos y distinguirlos de los trozos de papel de colores. Estos procesos de pensamiento se adaptan bien a la ciencia; el simple acto de coleccionar un abanico diverso de objetos interesantes u observaciones también sirve como punto de partida para la mayoría de las ciencias.

La célebre burla de Rutherford contiene una pequeña verdad, porque, en su época, la física estaba más avanzada que el resto de las ciencias, gracias a teorías unificadoras como las leyes del movimiento de Newton y las ecuaciones de Maxwell para el electromagnetismo. No obstante, ese mismo desarrollo se inició con la creación de una colección, solo que en lugar de sellos, se trataba de una colección de datos. Newton no ha-

bría podido formular sus leyes sin décadas de meticulosos registros de observaciones astronómicas y pruebas experimentales de las generaciones anteriores de científicos. Las ecuaciones de Maxwell aúnan los resultados de experimentos, aparentemente sin relación alguna, sobre el comportamiento de partículas cargadas e imanes. Y la enumeración de ejemplos continúa siendo críticamente importante hasta el día de hoy: se puede decir que el modelo estándar de la física de partículas es la teoría científica más completa y exitosa de la historia humana, pero la física moderna de partículas es la ciencia de acumulación masiva de datos por excelencia, puesto que el Gran Colisionador de Hadrones (GCH) produce cientos de petabytes, que equivalen a los datos experimentales de un año.³

A principios del siglo xx, ninguna otra ciencia estaba tan avanzada como lo está ahora, y ya entonces, la física. En geología, la idea de la deriva continental tardaría todavía décadas en plantearse, y los científicos seguían teniendo problemas para determinar la edad de la Tierra: la mejor estimación posible realizada a partir de la temperatura de la Tierra y del Sol sugería una antigüedad de como mucho un centenar de millones de años, una pequeña fracción de la edad que parecen tener las rocas. En química, las reglas que determinan los enlaces de átomos para formar moléculas se conocían, pero los principios subyacentes no se comprendieron hasta el desarrollo de la mecánica cuántica; incluso se llegó a debatir si los átomos eran entidades físicas reales o simplemente una conveniencia matemática. Probablemente, la biología era la disciplina que estaba más atrasada pero incluso en este caso, los mecanismos hereditarios seguían investigándose, y aún faltaba casi medio siglo para que se produjese el descubrimiento del ADN como punto clave de la herencia genética, uno de los principios cruciales de la bioquímica moderna.

Todas estas ciencias han hecho notables progresos a lo largo del siglo pasado, y han llegado a igualar o incluso a sobrepasar el punto de desarrollo en el que se encontraba la física en la época de Rutherford. La comprensión moderna de todas estas

3. Un petabyte corresponde a 1.000.000.000.000.000 de bytes.

ciencias empezó a desarrollarse con la colección de un gran número de «sellos», que permitió a los científicos localizar patrones que solo se hacen evidentes con la acumulación de un amplio abanico de información. Así que, aun si admitimos que se esconde cierta verdad en la maliciosa taxonomía de Rutherford, en otro sentido, es también una mala interpretación del método científico. La colección de sellos es un paso esencial para profundizar en el conocimiento científico.

Podemos encontrar un perfecto ejemplo en el tratado de ciencia más importante y controvertido que se ha escrito jamás: *El origen de las especies* de Charles Darwin.

Del *Beagle* al libro: La experiencia de Darwin

En diciembre de 1831, bajo el mando del capitán Robert FitzRoy, zarpó el HMS *Beagle* desde Inglaterra para realizar un estudio hidrográfico de Sudamérica. La misión principal no era destacable: era la continuación de un estudio previo (ahora olvidado) realizado entre 1825 y 1830. En el barco viajaba un joven de una próspera familia, Charles Darwin, que era también un personaje poco notable. Darwin había finalizado recientemente su educación en Cambridge y se había sumado al *Beagle* como una especie de naturalista aficionado y compañero de cenas para FitzRoy. El padre de Darwin no aprobó inicialmente este «alocado plan», pero cedió tras la intervención de su cuñado Josiah Wedgwood. Charles se embarcó durante cinco años para estudiar la geología, las plantas, los animales y los pueblos de Sudamérica, pues el *Beagle* recorría la costa oriental de Sudamérica, rodeaba Tierra del Fuego y subía por la costa occidental de Sudamérica, antes de cruzar el Pacífico de regreso a Inglaterra.

Resulta difícil imaginar que ninguno de los involucrados pudiera haber adivinado lo trascendental que acabaría siendo ese viaje. Y de hecho, durante veinte años, el viaje no pareció haber dado ningún fruto particularmente trascendental. El joven Darwin adquirió un gran número de especímenes de gran interés para la ciencia, incluidas algunas especies nuevas y cier-

tos fósiles impresionantes, pero su trabajo, en un principio, consistía tan solo en recoger las cosas interesantes que pudiera encontrar durante la expedición, sin ningún otro objetivo teórico ulterior. Darwin pudo descubrir una de las nuevas especies de aves, una variedad pequeña de ñandú, cuando se dio cuenta de que los tripulantes del barco se la estaban comiendo para cenar.⁴ Y mientras recopilaba muestras de las muchas especies de fringílidos de las Islas Galápagos, Darwin no se ocupó de registrar de qué isla provenía cada pájaro.⁵ No habría reconocido la referencia a la colección de sellos, pues el primer sello postal no se emitió hasta 1840, pero Darwin empezó ya a trabajar siguiendo el método de «coleccionista de sellos» en el *Beagle*.

El principal y más inmediato impacto del viaje fue personal, pues confirmó la pasión que Darwin sentía por el estudio de la naturaleza. Darwin escribió un popular libro sobre su experiencia como parte de una serie de libros sobre el viaje (*el Diario de Investigaciones*, ahora conocido como *El viaje del Beagle*), y gracias al éxito del libro y al dinero de la familia Wedgwood, pudo abandonar su plan original de unirse al clero.⁶ En 1842, se estableció en una casa de campo para estudiar la naturaleza a su antojo.⁷ Y el viaje sí plantó las semillas que germinarían en su trabajo posterior, pues, aunque no registró cuidadosamente el origen de los pinzones de las Galápagos, sí observó notables diferencias entre los ruiseñores de diferentes islas, y empezó a cuestionarse si las divisiones entre especies eran tan nítidas e inmutables como pensaban los científicos.

4. Conservó trozos del esqueleto y los envió a Inglaterra. Más tarde vio y describió la nueva especie en su entorno natural.

5. Los pinzones o fringílidos de Darwin se han convertido en una representación icónica de la evolución, gracias a la adaptación de sus picos a la diferente comida disponible en cada isla; ahora bien esto solo se produjo gracias al trabajo de naturalistas posteriores, especialmente al de David Lack en la década de 1940.

6. Josiah Wedgwood, el tío que intervino ante su padre para que le concediera el permiso de viajar en el *Beagle*, más adelante se convirtió en el suegro de Charles, y heredó una fortuna conseguida en el negocio de la alfarería.

7. Esta era una práctica habitual en su época; la mayoría de los grandes nombres de la ciencia británica del siglo XIX eran caballeros adinerados que realizaban investigaciones científicas como una especie de afición, igual que otras personas coleccionaban arte o antigüedades, o incluso sellos.

Aunque nunca necesitó trabajar, los ratos ociosos de Darwin eran escasos, pues se dedicaba a estudiar un amplio abanico de organismos tan minuciosa y obsesivamente que sus hijos supusieron que todos los padres se pasaban el día mirando por un microscopio. Es célebre la anécdota según la cual uno de sus hijos, mientras estaba de visita en casa de un amigo, preguntó: «¿Dónde tiene tu padre sus percebes?». Sus libros sobre percebes ganaron un premio de la Royal Society, y era un miembro activo de las principales sociedades científicas de su época. Además, estudiaba el comportamiento de las plantas en sus jardines y dedicó muchos años a criar palomas.

Todo este trabajo dio sus frutos en 1859, cuando Darwin publicó su libro más importante, *El origen de las especies mediante de la selección natural, o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*. Este libro supuso la introducción del concepto moderno de evolución biológica, levantó una enorme controversia pública, y convirtió a Darwin en una figura vapuleada o reverenciada según los diferentes bandos de las guerras de culturas que perviven hasta hoy.

No obstante, Darwin no fue el primero en pensar en términos evolutivos, ni mucho menos. Su propio abuelo, Erasmus Darwin, médico y poeta, había defendido ideas evolutivas a finales del siglo XVIII, y el científico francés Jean-Baptiste Lamarck postuló su propia y detallada teoría sobre el cambio en las especies animales, más o menos en el mismo momento. Otro Charles influyó también mucho en Darwin, concretamente el geólogo Charles Lyell, cuyos *Principios de Geología* Darwin leyó a bordo del *Beagle*. Lyell argumentaba que la Tierra no había sido creada en algún punto específico de los últimos diez mil años, sino que existía desde hacía una cantidad de tiempo inimaginable, durante el cual su geología había cambiado pausada pero regularmente debido a lentos procesos de sedimentación y erosión.⁸

Entonces, ¿cómo es posible que la figura de Darwin haya adquirido un estatus icónico, y que otros pensadores evolutivos

8. Lyell no aplicó el mismo razonamiento a los sistemas biológicos y, de hecho, consagró algunas páginas a atacar las teorías evolutivas de Lamarck.

solo sean recordados por los historiadores de la ciencia? *El origen de las especies* de Darwin ocupó el lugar de teorías anteriores por dos razones. En primer lugar, estableció un claro mecanismo que explicaba por qué ocurrían los cambios evolutivos: la lenta acumulación de pequeñas variaciones que incrementa las posibilidades de organismos individuales específicos de sobrevivir y reproducirse. Esos cambios beneficiosos se transmiten a las generaciones siguientes, en las que se producen más variaciones; las más beneficiosas de estas se pasan a la siguiente generación, y así una y otra vez.

Este mecanismo de la selección natural sitúa a la teoría de Darwin específicamente en el ámbito de la ciencia.⁹ Erasmus Darwin y Lamarck se habían basado en difusos «principios» metafísicos que producen continuas mejoras en la especie, como si hubiera que alcanzar algún objetivo, un fundamento bastante discutible para una teoría científica.¹⁰ Lamarck proporcionó el primer marco teórico coherente para hablar de evolución, y el propio Darwin lo citó como influencia de su pensamiento, pero al carecer de una idea mejor para explicar el mecanismo de cambio, la teoría de Lamarck no llegó a ganarse el respaldo de la ciencia.

El segundo factor, igualmente importante, que aseguraba el triunfo de Darwin provenía de sus años de cuidadoso coleccionismo, desde el *Beagle* a sus percebes, a la cría de palomas. El brillante éxito de *El origen de las especies* se debe en buena parte a que Darwin sustentó su teoría con pruebas, montones y montones de pruebas. Todos esos años de recolección y catalogación de plantas y animales, como sellos en un álbum, dieron sus frutos.

9. Al eliminar la necesidad de cualquier guía inteligente en el proceso, la selección natural también plantea un importante desafío a las ideas religiosas del creacionismo religioso, y provocó una controversia inmediata desde el día de su publicación hasta el presente. Aunque todo este revuelo resultaba personalmente incómodo para Darwin, sin duda contribuyó a cimentar su estatus como un icono de la ciencia.

10. Otra obra anterior a Darwin, la sensacionalista *Vestiges of the Natural History of Creation*, publicada anónimamente en 1844, combinaba estos «principios» metafísicos con especulaciones salvajes que no eran plausibles ni siquiera en época victoriana. Se convirtió en un superventas, pero las feroces críticas que recibió de los científicos podrían haber hecho a Darwin vacilar ante la idea de publicar sus propias ideas.

Los entresijos de *El origen*

A pesar de su largo título (*El origen de las especies mediante la selección natural, o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*) es bastante compacto, y excepcional respecto a los estándares de literatura victoriana, ya que tiene unas quinientas páginas en un solo volumen.¹¹ El propio Darwin lo consideraba una síntesis de un trabajo mucho más largo, que no llegó a completar, y así lo explica en el texto.¹²

No obstante, esas páginas rebosan información. El estilo relajado y familiar de Darwin fluye como la seda de modo que puede leerse incluso hoy sin problemas (aunque cueste un poco acostumbrarse a las largas y complicadas frases características de la prosa victoriana), por mucho que presente una montaña de pruebas y dé una diversidad de fuentes mareante. Ilustra sus argumentos con menciones a todo tipo de plantas y animales, cita la investigación de académicos eminentes así como conversaciones con granjeros y criadores de animales, y describe los resultados de sus propios experimentos. Apenas hay un párrafo en el que no se haga al menos una referencia a observaciones específicas del mundo natural.

Este enorme despliegue de información es necesario porque convencer a la gente de la evolución mediante la selección natural es una tarea tremendamente difícil. Por su propia naturaleza, el proceso de evolución es extremadamente lento.¹³ El cambio evolutivo exige muchas generaciones —probablemente cientos— para hacerse visible. No resulta fácil observarlo directamente, pues requeriría organismos con periodos

11. *El origen* tuvo seis ediciones en la época de Darwin, lo que implica muchas revisiones y añadidos al texto. En este libro, tengo como referencia la primera edición, en concreto, la versión electrónica de la edición Barnes and Noble Classics.

12. La impresión de *El origen* se aceleró después de que Darwin recibiera una carta del naturalista Alfred Russel Wallace, en la que se resumía una teoría evolutiva muy similar. Aunque Darwin había estado trabajando en un manuscrito desde principios de 1840, lo descartó y volvió a empezar, y acabó elaborando el libro más famoso en solo trece meses.

13. El resultado específico también es difícil de traducir, debido a la inherente aleatoriedad que provoca el proceso. En general, las futuras generaciones estarán mejor adaptadas a su entorno, pero hay muchas formas de conseguir esa adaptación, y los resultados son en ocasiones sorprendentes.

de vida excepcionalmente cortos (de manera que los observadores humanos pudieran observar el paso de suficientes generaciones) o la capacidad de observarlo durante miles, si no millones, de años.

Dado que los cambios suceden muy lentamente, los argumentos para justificar la evolución, particularmente en 1859, deben ser más contundentes. Nuestras observaciones directas de plantas y animales están limitadas a un espacio de tiempo muy corto (como mucho, de cien años), de modo que las pruebas que nos proporcionan los fósiles creados en un pasado más lejano son vitales. No obstante, se ven rastros de la historia evolutiva en la estructura y el comportamiento de plantas modernas y animales, y, mientras que la evidencia que obtenemos con un solo grupo de organismos puede no ser muy convincente por sí misma, la acumulación de pruebas obtenidas a partir del estudio de organismos muy diferentes permite construir una serie de argumentos muy sólidos.

La argumentación de Darwin en *El origen* tiene una progresión directa. En primer lugar, establece que las pequeñas variaciones en las características de los diferentes organismos son casuales en la naturaleza, y que la siguiente generación las hereda. A continuación, argumenta que todos los seres vivos están inmersos en una «lucha por la existencia» continua, pues deben enfrentarse a otros organismos y a factores medioambientales para conseguir los recursos que se necesitan para sobrevivir y reproducirse. De esos dos factores, puede deducirse directamente la idea de la selección natural: las variaciones casuales de las características individuales producirá seres con algún rasgo que les dé una mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse: las piernas más largas son más útiles para escapar de los depredadores, o bien un hocico más largo permite alcanzar comida en sitios a los que es difícil llegar. Los descendientes de los seres con estas características las heredarán, y, a su vez, algunos experimentarán también variaciones importantes (con piernas u hocicos más largos) que les darán aún más probabilidades de sobrevivir y reproducirse, y, por tanto, tendrán más posibilidades de transmitir sus características a futuras generaciones. Los cambios de una generación a la

siguiente serán demasiado pequeños como para ser evidentes, pero, al cabo del tiempo, se acumularán y finalmente producirán organismos con características extremadamente diferentes a las de sus ancestros. En un lugar en el que los depredadores sean especialmente comunes, nos encontraremos con un espécimen veloz y de patas largas, mientras que si en otra parte encontrar comida es más importante que evitar a los depredadores, es muy posible que la variedad de la especie dominante en esa zona sea aquella con el hocico más largo. Así funciona la selección natural, y se puede entender como una analogía de la selección usada por los criadores de plantas domésticas y animales. Estos solo permiten que se reproduzcan los individuos con las características deseadas, y acaban produciendo razas muy distintas. Al contrario que en el ámbito doméstico, sin embargo, la selección natural se produce automáticamente, y no tiene ningún propósito particular.

Cada paso de esta argumentación se apoya en una enorme cantidad de evidencia de las diferentes especies de animales y plantas. Darwin trata la variación en los dos primeros densos capítulos: en el primero se establece la variabilidad y la herencia de características entre animales domésticos, y en el segundo, se argumenta una variabilidad similar entre los animales salvajes. Solo en el primer capítulo, cita observaciones sobre patos, vacas, cabras, gatos, ovejas, cerdos, perros, rebaño, burros, gallinas de guinea, renos, camellos, hurones, caballos, gansos y pavos, junto con al menos diez razas de palomas criadas en cautividad, para ilustrar los efectos de la crianza de animales. El capítulo también habla de variedades de grosellas, repollos, rosas, geranios, dalias, y peras (además de hacer referencias a frutas y flores de variedades sin especificar) para demostrar la influencia de los horticultores. También cita obras de al menos veinticuatro fuentes, que van desde el trabajo de otros científicos y destacados criadores, al escritor romano Plinio y el libro del Génesis. Al mismo tiempo que hace esto, se disculpa regularmente por no ser capaz de dar los detalles suficientes en el espacio de un solo libro.

Tras establecer que las características de cada individuo pueden variar, y que esas variaciones se pueden transmitir a la

descendencia, Darwin pasa a establecer la lucha por la existencia. Su argumentación es, según sus propias palabras, «la doctrina de Malthus aplicada con fuerza diversa a todo el reino animal y vegetal». En esta cita hace referencia al reverendo Thomas Malthus, cuya obra de 1798 titulada *Ensayo sobre el principio de la población* argumentaba que la población humana crecería inevitablemente hasta que el hambre o la enfermedad la diezmaran.¹⁴ Darwin aplica esa idea a toda la naturaleza, argumentando que las plantas y los animales se reproducirán necesariamente a un ritmo que rápidamente los llevaría a agotar los recursos que necesitan para sobrevivir, o bien actuarían fuerzas que reducirían sus poblaciones.

De nuevo, este paso del argumento aparece copiosamente ilustrado con ejemplos de su propio trabajo y de otros. Incluye un cálculo según el cual estima que una sola pareja de elefantes, un animal con un crecimiento lento, podría llegar a producir quince millones de descendientes a lo largo de 500 años; dado que no corremos el peligro de que nos pisoteen, tiene que haber algún elemento que controle la población de elefantes. Describe un experimento que demuestra que las plantas que crecen rápidamente superan a otras plantas cuando se queda un espacio libre en la tierra, que se puede ocupar. Así, explica el experimento accidental que uno de sus vecinos en el campo llevó a cabo cuando cerró una parcela de terreno para impedir que los animales salieran, lo que acarreó un aumento de los pinos silvestres, cuyos brotes se había comido hasta ese momento el ganado que allí pastaba. Estas observaciones demuestran sin duda que las plantas y los animales compiten entre ellos por los recursos disponibles, que pequeños cambios alteran el equilibrio de la competición, y que alterar ese equilibrio provoca cambios que se pueden observar en las poblaciones de las diversas especies presentes.

Darwin reúne todas estas ideas en el capítulo cuarto para introducir la idea básica de la evolución a través de la selección natural: puesto que los organismos individuales tienen descen-

14. Esta alentadora observación es en buena parte responsable de que el campo de Malthus, la economía, reciba el apodo de «la ciencia deprimente».

dientes con características distintas y deben luchar para evitar morir de hambre o a los depredadores, toda variación que aumente la probabilidad de éxito en esa lucha tendrá más probabilidades de pasar a la siguiente generación.

Inevitablemente, este es el capítulo más abstracto del libro, ya que se basa en buena parte en argumentos hipotéticos sobre el posible curso de la evolución de diversos organismos. No obstante, Darwin también apoya sus hipótesis con citas y pruebas. Tras considerar el funcionamiento de la operación de la selección natural en una población de lobos que cazan ciervos, cita de inmediato la observación de dos tipos distintos de lobos en las montañas Catskill del estado de Nueva York, tal y como sugería su modelo hipotético. Tras considerar la operación de la selección natural en plantas con flores e insectos hipotéticos, Darwin menciona los resultados de sus propias observaciones de plantas en su jardín, en los que se describen los efectos de la estructura de la flor en su fertilización por parte de los insectos, y que de nuevo encajan con su modelo hipotético.

Como buen estudiante de retórica, consagra buena parte del libro (de los capítulos siete a catorce) a anticipar y plantear objeciones a la teoría, contrapuestas con observaciones y experimentos que respaldan la teoría. Muchas de las aparentes «dificultades» que destaca Darwin (como la aparente baja probabilidad de que un órgano tan complejo como el ojo sea producto de la evolución o la aparente carencia de «formas de transición») siguen siendo algunos de los argumentos que cita la propaganda antievolución, pero ninguna supuso un obstáculo real a la teoría. Darwin contraargumenta con las pruebas más contundentes disponibles y, en muchos casos, establece el modelo para dar respuestas modernas a las mismas preguntas (que ahora pueden basarse en muchas más pruebas obtenidas durante los últimos 150 años).

Aunque ninguno de los datos por sí solos son decisivos, su enciclopédica variedad de ejemplos, que se extienden por todo el globo y llegan a todos los rincones del reino animal y vegetal, permite construir un argumento convincente y formidable. Por supuesto, el hecho de que Darwin sea un escritor

encantador y convincente es una gran virtud del libro, pero *El origen* no tendría la importancia que tiene sin los veinte años que Darwin pasó recopilando «sellos» que sirvieran de ejemplos para respaldar su argumento.

La evolución desde *El origen*

Durante los 150 años que han pasado desde que Darwin publicara *El origen*, las ya firmes pruebas en las que se sustentaba la teoría se han vuelto abrumadoras, y la evolución mediante la selección natural es la piedra angular de la biología moderna. Aunque la teoría de Darwin levantó controversia cuando se publicó, el genetista Theodosius Dobzhansky publicó en 1973 un famoso ensayo titulado «En biología nada tiene sentido, si no es a la luz de la evolución», una frase muy usada por los biólogos evolutivos. Dobzhansky argumentó que sin el concepto unificador de la evolución, la biología no sería más que «un conjunto de hechos variados, algunos de los cuales serían interesantes o curiosos, pero carecerían de sentido como un todo», serían solo una colección de sellos, en palabras de Rutherford. Con la evolución, todo encaja mediante una diversa colección de campos más concretos; la paleontología, la genética, la biología celular y la ecología proporcionan pruebas evidentes de la evolución.

Básicamente, se han abordado todas las «dificultades» que Darwin identificó en su teoría. En algunos casos, encontrar las respuestas requería simplemente más tiempo e investigación. Darwin se dio cuenta de que era inevitable que las evidencias fósiles de la historia de la vida fueran dispersas e irregulares, puesto que las condiciones que se necesitan para preservar fósiles durante millones de años son extrañas. No obstante, tras un siglo y medio más de hallazgos fósiles, se han encontrado numerosos ejemplos que completan el registro de la época de Darwin, y permiten dibujar el lento cambio de las especies a lo largo de millones de años de evolución. Siguen apareciendo algunas pruebas, con recientes descubrimientos como el pez con extremidades *Tiktaalik*, que arrojan luz sobre cómo pudo

ser la transición de los peces que habitan los océanos a los tetrapodos terrestres.

Otros avances científicos han permitido ver directamente la evolución en acción. La teoría microbiana de la enfermedad todavía no se había afianzado en la época en la que Darwin escribía, y faltaban décadas para el desarrollo de los antibióticos, pero el problema médico moderno de la resistencia a los antibióticos demuestra claramente los efectos de la selección natural en estado salvaje. Los organismos que causan la enfermedad tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse si tienen algunas pequeñas variaciones que los haga menos susceptibles a los antibióticos que los médicos y hospitales usan para tratar las infecciones. Si los descendientes de los organismos heredan esas variaciones, esta descendencia resistente acabará dominando la población de organismos infecciosos. Se ha observado que las medicinas que solían usarse para acabar con algunas bacterias se han vuelto menos efectivas con el tiempo, un fenómeno real y mortal que solo puede comprenderse en términos de evolución por la selección natural.

En otros casos, nuevos avances científicos han permitido a los biólogos afianzar la base conceptual de la teoría de Darwin. En *El origen*, Darwin se ve obligado a admitir que las reglas exactas de la transmisión hereditaria son un misterio, y tiene dificultades para explicar exactamente por qué los individuos tienen características distintas y cómo se transmiten los rasgos hereditarios. A partir de los estudios con plantas de Gregor Mendel, un contemporáneo desconocido de Darwin, cuyo trabajo fue redescubierto a principios del siglo xx, los biólogos desarrollaron una comprensión concreta e importante de la transmisión de rasgos hereditarios. Con el desarrollo de la bioquímica y el descubrimiento del código del ADN, nuestro conocimiento de la herencia estalló. Los biólogos modernos tienen una comprensión mucho mayor de cómo se combinan los genes para producir los rasgos individuales y cómo los pequeños errores en la copia de genes (o el daño por factores ambientales) pueden introducir las nuevas variaciones necesarias para provocar la evolución mediante la selección natural. Difícilmente pasa una semana sin que se publique alguna noti-

cia sobre el descubrimiento de un gen asociado con un rasgo u otro, y algunos biólogos consideran los genes, y no los organismos, como los elementos centrales en la evolución.

La evidencia de la evolución es tan amplia y abrumadora que me veo obligado a seguir el ejemplo del propio Darwin y disculparme por la falta de espacio necesario para hacer justicia a un tema tan complicado. Hay innumerables libros y páginas webs dedicados al tema para quienes estén interesados en leer más, pero cabría destacar la excelente página web Understanding Evolution, que dirige el Museo de Paleontología de la Universidad de California (<http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/home.php>), que incluye artículos que detallan los últimos avances de biología evolutiva.

Algunas discusiones modernas de la evolución, particularmente en el área de la genética, serían completamente incomprendibles para Darwin, mientras que otras resultarían reconfortantemente familiares. No obstante, ha habido una cosa que no ha cambiado desde la época de Darwin: la evolución a través de la selección natural no está sustentada por ninguna prueba incontestable, sino por una inmensa colección de pequeñas pistas que apuntan en la misma dirección. La ciencia no puede rebobinar la evolución como si fuera una película casera, en la que se mostrara una transición sin interrupciones de humanos a protohumanos y a primates como los chimpancés, hasta pequeños mamíferos que vivían a la sombra de los dinosaurios. Nunca podrá alcanzarse ese nivel de detalle. Ahora bien, la enorme carga de pruebas, recopiladas una a una como sellos en un álbum, señala inequívocamente a los orígenes evolutivos de los seres humanos y, de hecho, de todos los seres vivos de la actualidad.¹⁵

15. Por desgracia, todavía hay personas que se niegan a aceptar las pruebas, alegando motivos religiosos, y se oponen incluso a la enseñanza de la evolución en las escuelas. Sus argumentos carecen de cualquier validez, y no merecerían ni una nota al pie en ningún libro de ciencia, si no fuera por los poderosos aliados que los apoyan sobre todo en Estados Unidos. En consecuencia, se requiere la vigilancia constante de científicos y organizaciones como el National Center for Science Education (<http://ncse.com>) para proteger la integridad de la educación científica.

Más allá de *El origen*

Si bien es cierto que el trabajo de Darwin es probablemente el ejemplo más importante y célebre de descubrimiento conseguido mediante la recopilación de una gran cantidad de pruebas, todas las ciencias empiezan con la colección de «sellos», es decir, datos sueltos que pueden parecer solo curiosidades vagamente interesantes a primera vista. Este hecho resulta particularmente cierto en las ciencias observacionales, puesto que los investigadores intentan dar sentido a acontecimientos que se remontan a tiempo atrás, y que no se repiten fácilmente. La idea de que los continentes cambian de posición a lo largo del tiempo empezó con la observación por parte de Alfred Wegener de que las líneas costeras de África y Sudamérica parecen piezas de un mismo rompecabezas que encajan. La idea de la deriva continental no empezó a ganar partidarios hasta después de que se encontraran otras múltiples líneas de evidencia que lo corroboraban: estrechas similitudes entre los estratos rocosos y fósiles en lados opuestos del Atlántico, pruebas de que el lecho marino se extiende por la dorsal mesoatlántica, y la presencia de «franjas» similares de magnetización en rocas a ambos lados de la dorsal, que perfilaba la historia de las inversiones de los polos magnéticos. Gracias a la convergencia de todas esas pruebas individuales, la idea de que los continentes han cambiado de posición a lo largo de millones de años es fundamental para la teoría moderna de placas tectónicas, tan importante para la geología como lo es la evolución para la biología.

En astronomía, la teoría cosmológica del Big Bang ha alcanzado una posición casi igual de importante en el núcleo de todo nuestro conocimiento del universo, mediante la acumulación de muchas líneas distintas de evidencias. Vesto Slipher y Edwin Hubble se dieron cuenta de que las galaxias lejanas parecen estar alejándose de nosotros, como cabría esperar si el universo se está expandiendo. De forma semejante, Arno Penzias y Robert Wilson descubrieron «la radiación de fondo cósmico de microondas», un resto de luz que se remonta a cuando el universo tenía solo 300.000 años de antigüedad. Ralph Alpher

y Robert Herman habían predicho la existencia de esta radiación de fondo como una consecuencia necesaria del Big Bang. Asimismo, la mayoría de los científicos aceptan la existencia de las misteriosas materia y energía oscuras que supondrían el 96 % del contenido energético del universo, a pesar de que nunca se han detectado directamente. No obstante, gracias a la convergencia de muchas observaciones que sugieren la presencia de grandes cantidades de materia que no podemos ver (hablaremos más sobre estas observaciones en el capítulo 6), los científicos aceptan la presencia tanto de la materia oscura como de la energía oscura. Igual que los pinzones y fósiles de Darwin, ninguna de estas observaciones son concluyentes por sí solas, pero unidas componen un sólido argumento que solo una minoría de intransigentes se empeñan en seguir negando.

No obstante, incluso en las ciencias experimentales, la recopilación de pruebas de múltiples fuentes desempeña un papel esencial. Tal y como veremos en el capítulo 8, nuestra concepción moderna de los átomos surge de la unión de resultados de muchos experimentos que se realizaron a lo largo de décadas, y el propio Rutherford se encargó de recopilar algunos de esos «sellos».

La ocurrencia de Rutherford sobre el coleccionismo de sellos normalmente se utiliza para burlarse de los biólogos o para ejemplificar el exceso de arrogancia de los físicos: dependerá de si la persona que la cita es un físico o un biólogo. Ahora bien, teniendo en cuenta la función de la recopilación de datos para la biología evolutiva y otras ciencias, quizá el comentario de Rutherford debería entenderse como un elogio a los coleccionistas de sellos. Casi todo el progreso en la ciencia puede en última instancia relacionarse con el impulso humano de recolectar y reordenar cantidades enormes de material.

Colección de sellos y resolución de problemas

Normalmente no se considera que el coleccionismo tenga un objetivo más allá de sí mismo. La mayoría de los coleccionistas de sellos no piensan que sus colecciones puedan ponerse al

servicio de una teoría mayor, sino que solo disfrutaban del placer de reunir sellos y cubrir los huecos de su colección. Ahora bien, como demuestran los episodios de la historia de la ciencia explicados más arriba, el impulso de coleccionar puede ser un punto de partida para el progreso científico. Los procesos de pensamiento de un buen coleccionista —estar siempre atento a la aparición de nuevos especímenes, fijarse en características pequeñas e interesantes, el impulso de completar el conjunto de todas las variaciones posibles— también funcionan con los científicos.

El impulso de coleccionar también puede desempeñar un papel importante en la resolución de problemas que no consideraríamos científicos a primera vista. Cuando nuestra hija era un bebé, solía tener largos episodios de llantos y de gritos inconsolables, y que iban asociados con dolor de estómago. Oficialmente, se le diagnosticaban cólicos, un término médico que quiere decir «dolor de estómago terrible sin ninguna razón obvia». A Kate y a mí nos aseguraron que se trataba de un problema común que desaparecería por sí solo al cabo de unos meses. Cuando no lo hizo, acabamos hallando una solución a través del coleccionismo de sellos.

Vigilábamos con atención qué comía nuestra hija y cuándo lo hacía, porque esa es nuestra tendencia general (y yo había hecho tablas y gráficos con esta información, porque eso es lo que hago). Tras examinar varias semanas de registros de su dieta y compararlos con los dolores de estómago, empezamos a ver un patrón, y cuando añadimos lo que Kate comía y bebía, tuvimos una imagen clara de la situación. La causa principal del problema era que nuestra hija tenía una sensibilidad especial a la soja y a la lactosa, incluidas la soja y la lactosa que Kate ingería mientras daba el pecho.

Ninguno de los registros era útil por sí solo, y la mayoría de los experimentos individuales que probamos no sirvió de nada. Utilizar una preparación sin lactosa para las tomas suplementarias no ayudó, porque contenía soja, que también suponía un problema. La preparación sin lactosa y sin soja no funcionó tan bien como esperábamos, porque Kate seguía comiendo productos lácteos. Solo cuando aunamos todas nues-

tras observaciones vimos con claridad el verdadero patrón. Así, solo cuando eliminamos la soja y la lactosa de la dieta de todos, se resolvió el problema de los cólicos, y conseguimos dormir un poco.¹⁶

La historia de nuestras aventuras con los cólicos ilustra un punto importante del método científico. Para que una aproximación científica sea eficiente, se necesitan datos. A menudo, las medidas individuales que conforman esos datos parecerán insignificantes, incluso triviales, como sellos postales. No obstante, si reúnes suficientes sellos, el resultado puede ser muy valioso.

La lección que podemos aprender de Darwin, Rutherford y de la recopilación en general, por tanto, es la importancia de sopesar todos los datos. El primer paso para que el científico que llevas en tu interior se enfrente a un problema es hacer acopio de toda la información disponible sobre el problema —si quieres perder peso, debes tomar conciencia de lo que comes; si quieres aprovechar mejor tu tiempo en el trabajo, necesitas repasar lo que haces durante el día. Los registros individuales tal vez no sean significativos por sí mismos, pero, sumados, pueden revelar útiles patrones y sugerir soluciones.

16. El proceso de eliminar alimentos de la dieta no es tan simple como podría parecer, porque hay soja en todo tipo de sitios inesperados. Por suerte, no obstante, la sensibilidad a la soja y a la lactosa acabó desapareciendo, y ahora el 80 % de las calorías de la dieta de nuestra hija procede del queso y del yogur.