

TAMARA PAZOS @PUTAMEN_T

LA **BIOLOGÍA**
APRIETA
PERO NO
AHOGA

POR QUE LA NATURALEZA NOS CONDICIONA COMO SERES HUMANOS

PAIDÓS
para curiosos

TAMARA PAZOS @PUTAMEN_T

LA BIOLOGÍA
APRIETA
PERO NO
AHOGA

POR QUÉ LA NATURALEZA NOS
CONDICIONA COMO SERES HUMANOS

PAIDÓS

1.ª edición, mayo de 2022

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). Dirijase 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.

© Tamara Pazos Cordal, 2022

© de las ilustraciones, Javier Pérez de Amézaga Tomás, 2022

© de todas las ediciones en castellano,

Editorial Planeta, S. A., 2022

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

Avda. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona, España

www.paidos.com

www.planetadelibros.com

ISBN: 978-84-493-3939-4

Fotocomposición: Pleca Digital, S. L. U.

Depósito legal: B. 6.361-2022

Impresión y encuadernación en Liberdúplex, S. L.

Impreso en España - *Printed in Spain*

SUMARIO

Introducción. Viaje de ida y vuelta	7
Capítulo 1. Origen y evolución de la vida	13
Capítulo 2. Origen y evolución de la reproducción sexual	43
Capítulo 3. Significado de especie	73
Capítulo 4. Análisis de la especie humana como comunidad	105
Capítulo 5. Si nos organizamos, fo**amos todos.....	141
Capítulo 6. Somos nuestro ADN.....	167
Capítulo 7. El sexo biológico.....	197
Capítulo 8. Ni género ni <i>génera</i>	231
Capítulo 9. Teorías genéticas y epigenéticas de la homosexualidad	249
Capítulo 10. Adiós a las falacias naturalistas	275
Epílogo	315
Bibliografía	321
Agradecimientos	325
Acerca de la autora.....	329

1

ORIGEN
Y EVOLUCIÓN
DE LA
VIDA



Este primer capítulo me recuerda a mis primeros años en la carrera de Biología, años en los que cursaba asignaturas difícilmente aplicables a nada que me interesase.

Aquel tipo de materias, acompañadas de un estilo de docencia decimonónica en el que los profes impartían asignaturas como si estuvieran dando un sermón, me resultaban muy poco atractivas. Eran la excusa que necesitaba para alargar las horas del reparador descanso juvenil y tomarme mi tiempo para desayunar adecuadamente en la cafetería. Solo pasaban lista en la asignatura de Botánica y mi queridísimo Bruno aprendió a copiar mi firma. Así que saltarse clases no era muy complicado.

Las prácticas molaban, eso sí. Esos días hasta iba contenta a la universidad. Fardaba de bata en el laboratorio como en las películas y estrechaba lazos de amistad con los compis. Los mejores planes de cena-baile se cocían allí.

Obviamente los resultados no fueron buenos. Aprobé solo cuatro asignaturas de las diez que cursaba. Perdí mi beca y tuve que trabajar todo el verano dando clases particulares para pagarme la matrícula del año siguiente.

Esto fue un chute de motivación para el segundo curso. No porque tuviera interés en las materias, simplemente porque no quería liarla más.

El tiempo pasa volando y, de repente, ya estaba en tercero. Fue entonces cuando aparecieron materias menos abstractas y más satisfactorias para mis ansias de conocimiento. Comprendí que Matemáticas, Física, Estadística, Genética y otras tantas que en su momento me amargaban la existencia eran el peaje necesario para disfrutar de lo que se construía gracias a ellas. Hubiese sido imposible flipar en la asignatura de Bioquímica Molecular al descubrir unas levaduras «inmortales» sin haber cursado antes Bioquímica I y II.

Aborrecí y aborrezco esas asignaturas. Ir a un examen sabiendo de memoria todas las reacciones que tienen lugar en mi cuerpo desde que me como una galleta hasta que sale, ¡venga, hombre ya!

No obligaría a nadie a memorizar la lista de los reyes godos, la tabla periódica o fórmulas trigonométricas, pero eliminar la materia tampoco me parece la solución. Así que... ¡larga vida a Bioquímica I y II!

El aprendizaje se construye mediante la repetición. Aprendizaje digo, no memoria. Esta está muy bien para quien la tenga.

Si mediante la repetición de problemas de trigonometría hay chavalines que recuerdan la fórmula, pues estupendo, *chapeau*, ¡genial! Pero, en mi opinión, no es esta la finalidad de la formación académica.

Si enfocamos la educación como una inversión de tiempo y dinero, que recuperaremos cuando encontremos un trabajo, entonces sí, enseñaremos qué hay que hacer y no el porqué. Pero, si pensamos en la educación como en un crecimiento personal enfocado en la investigación, el debate y el desarrollo común, educarse pasa de ser un ejercicio individual a convertirse en una actividad colectiva. Se hace imprescindible, por tanto, entender y saber manejar con fluidez los conocimientos adquiridos por los miembros de esa comunidad que nos han precedido.

La cultura funciona como una carrera de relevos en la que cada generación coge el testigo de la anterior.

Es necesario hacer un ejercicio de humildad en cada etapa. Para ello es imprescindible dar reconocimiento a nuestros antecesores estudiando su trabajo y dándoles crédito en nuestros siguientes pasos. Esto nos convierte en levaduras inmortales. Comunidades que nunca mueren porque siguen construyendo conocimiento en conjunto, en equipo.

Pero, a pesar de ser inmortales como comunidad, alguna levadura quiere vivir aún más que el resto. Por ejemplo, a mediados del siglo xx, Rosalind Franklin postuló las bases del ADN y le sacó su primera foto. Luego llegaron los espabilados de turno, sus compis de laboratorio Watson y Crick. Utilizaron el trabajo de Rosalind sin darle crédito y pasaron a la historia como los descubridores del ADN. De ella no se acordaban ni en su casa hasta que en el siglo xxi llegaron las reivindicaciones feministas que devolvieron el protagonismo a aquellas mujeres que habían permanecido injustamente relegadas en papeles secundarios.

No nos confundamos, estos tipos eran brillantes investigadores, no les hacía falta eclipsar a nadie y, aun así, lo hicieron.

Dejando a un lado el histórico androcentrismo de la investigación, la idea de verse como una estrella en la historia de la humanidad deslumbra a cualquiera. Deja a uno miope, sin ver más allá de su propias narices, incapaz de entender la humanidad en la que quiere hacer historia.

Cuando hablo de la cultura como una carrera de relevos, me gusta pensar en esa imagen de una forma literal. Como si cada persona que investiga, escribe y enseña, avanzara metros en un camino por recorrer. ¡Por ella y por sus compas!

Un siglo y medio después del descubrimiento de Franklin, seguimos construyendo conocimiento en torno al ADN. A pesar de todo lo que sabemos acerca de la información genética, a

pesar incluso de ser capaces de editar y de llegar a fusionar el ADN de organismos distintos en forma de transgénicos, parece que todavía es mucho lo que queda por descubrir. El ADN contiene gran cantidad de información cuya función aún desconocemos; casi más que aquella que entendemos y en la que somos capaces de intervenir.

Esto último no debe desalentarnos, al contrario, solo es un apunte de humildad para que nos entren más ganas de seguir corriendo.

ENTREMOS EN MATERIA

Aprovecho la mención al ADN para ponerlo en el centro de lo que voy a contar, para empezar con esa parte de información abstracta que te va a amargar la existencia, pero que dará una comprensión real y profunda a las partes más divertidas de este cuento.

Gracias a la educación, la divulgación científica e incluso películas tan épicas como *Jurassic Park*, a día de hoy, el que más y el que menos sabe qué es el ADN o le basta una breve explicación para pillar enseguida el concepto.

Hablar de ADN es sinónimo de pensar en biología, en vida. Pero la base de la vida y la naturaleza tal y como la conocemos, llena de plantas y animales, está en el carbono.

Para que entiendas cómo funciona la composición de la materia que nos compone y la que nos rodea, te voy a hacer un resumen de cuáles son las piezas de menor a mayor, como si se tratase de un bizcocho hecho de yogur, harina, azúcar y aceite, donde el yogur está compuesto de grasas, agua, proteínas y lactosa, y esa grasa a su vez está compuesta por unas moléculas y esas moléculas por unos átomos, etc.

Las piezas más pequeñas que constituyen la materia son los electrones, los protones y los neutrones. Hay investigacio-

nes que trabajan en descomponer estas piezas para ver si hay otras aún más pequeñas, pero tú quédate con la idea de que lo más pequeñito que hay son los electrones, los protones y los neutrones. Estos tres elementos se juntan para formar un átomo, cuya representación gráfica la podemos encontrar en la introducción de la serie *The Big Bang Theory*, y los átomos constituyen los elementos de la tabla periódica. De esta forma, encontramos átomos de hidrógeno, átomos de litio, átomos de carbono, átomos de flúor, átomos de azufre, etc.

Cada uno de los elementos de la tabla periódica son átomos que se pueden unir a otros. Siento ponerte el ejemplo más básico de la *basicidad*, pero dos átomos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O) nos dan una molécula de agua (H_2O) y muchas moléculas de agua nos dan mucha agua, agua que podemos juntar con otras moléculas para constituir otros tipos de materia.

CHONPS

En el caso de la materia orgánica, la que conforma los organismos vivos, el protagonista es el carbono. Hasta que este elemento de la tabla periódica no empezó a combinarse con otros, todo lo que había en la Tierra era materia inorgánica: gases, piedras y demás.

Gracias a condiciones ambientales provocadas por rayos y retruécanos, en lo que se cree que fue un caldo idóneo, el carbono (C) se combinó con elementos como el hidrógeno (H), el oxígeno (O), el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). Lo que llamábamos en clase de química CHONPS para acordarnos de aquellos compuestos que, combinados, constituyen la materia orgánica. Lo que se tira al contenedor de basura naranja o marrón, según parroquias.

Con toda esta información ya podemos hacer un viaje a una

charca de hace más de cuatro mil millones de años, una época en que la Tierra era un planeta muy hostil.

Estarás pensando que no te hace falta viajar tanto para imaginarlo, pero hace cuatro mil millones de años la hostilidad no eran los *haters*, la misoginia, el *body shaming* o la censura. Por aquel entonces no existía vida en la Tierra, solo rocas, una atmósfera llena de gases letales y alguna que otra masa de agua.

Es ahí a donde vamos, a una charca de agua en la que flotan muchos de esos átomos. Al funcionar igual que imanes que se atraen y se repelen, a medida que chocan en el agua, algunos átomos permanecen juntos. Es una cuestión totalmente azarosa, pero cuando por casualidad el choque tiene lugar entre el carbono y el resto de los CHONPS, se produce materia orgánica.

Siguiendo esa cadena de azarosos eventos a lo largo de miles de años, todas estas moléculas orgánicas empezaron a combinarse entre sí formando adenina, timina, guanina y citosina.

No hace falta que te acuerdes de ninguno de estos nombres ni de que son las bases nitrogenadas, pero yo te lo cuento igual.

Lo importante de las bases nitrogenadas es que al juntarse con algunos azúcares del ambiente dieron lugar a la primera molécula de ADN.

¡Tachán!

Esta es la información clave, entender que la aparición del ADN en la Tierra es una cuestión totalmente atribuida al azar. Un proceso de miles de años en los que hubo muchos choques de moléculas que no derivaron en la aparición de materia orgánica.

Pero un día sí, un día, después de miles de años chocando sin resultado, un par de bases nitrogenadas y azúcares (nucleótidos) se juntaron para dar lugar a una molécula más grande, una molécula de ADN ahí perdida en medio de esa charca

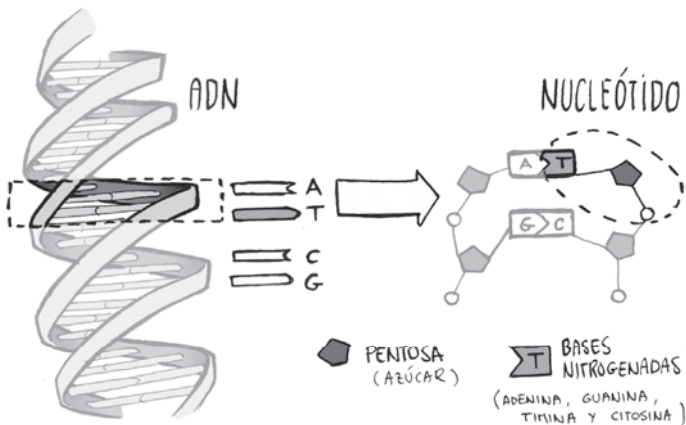


Figura 2. Estructura de ADN y nucleótidos

de agua y compuestos orgánicos en donde Cristo perdió la zapatilla.

En este punto tengo que hacerte un *disclaimer* y decir que todo apunta a que el primer material genético era ARN y no ADN (más adelante te cuento las diferencias). Además, esto fue unos miles de millones de años antes de que existiese Cristo y perdiese la dichosa zapatilla.

Como podrás deducir, el camino a la vida no terminó ahí, el material genético sumergido en ese charco continuó relacionándose con el entorno, atrayendo y repeliendo otras moléculas. Como señaló el Dr. Ian Malcolm en *Jurassic Park*, la vida se abre camino.

Ya que menciono a este personaje, necesito repasar otro concepto.

En la primera película de la saga, en una escena de flirteo con la paleontóloga Ellie Sattler, si obviamos su tono condescendiente y paternalista de *señor* matemático, podemos dar con un concepto clave: el caos.

Ian lo explica de la siguiente forma: «Simplemente se trata

de la imprevisibilidad en sistemas complejos. Se resume en el efecto mariposa. Una mariposa bate las alas en Pekín y en Nueva York llueve en lugar de hacer sol».

Después de que, con esa explicación de mierda, la doctora se quedase como estaba, el matemático le hace unos cariños, como si ella fuese tonta y él su padre. Le echa una gota de agua en la mano y trata de que ella adivine hacia dónde irá. Repiten el experimento y observan que, debido a pequeñas variaciones en el entorno y en la propia mano (dilatación de vasos sanguíneos, orientación del vello de la mano, imperfecciones de la piel, etc.), la gota se va cada vez hacia un lado. Estas variaciones nunca se repiten y afectan mucho al resultado final, dando lugar a una gran imprevisibilidad.

Además de aprovechar la anécdota para subrayar lo molestas que son estas conductas paternalistas, me resulta imprescindible insistir una vez más en que, cuando hablamos de evolución aplicada al ADN, estamos hablando de azar, caos e imprevisibilidad.

UNA CASA PARA EL ADN

Creo que una de mis metas como bióloga es hacer entender a la gente que los seres vivos no somos más que las casas de nuestro ADN. Así que voy a empezar ya a meterte ese concepto en la cabeza.

Los animales y las plantas están tan bien hechos y están tan bien adaptados a su entorno que resulta tentador abrazar el creacionismo: creer que una mente superior, una deidad, tiene un plan y diseña a voluntad elementos de los ecosistemas que encajan perfectamente entre sí.

También te digo que, según la mirada analítica que tengas ese día, te das cuenta de que esto no tiene sentido. Hay muchos cabos sueltos.

Piensa en tu garganta. Tienes un conducto de entrada compartido para aire y comida y, por lo tanto, si un trozo de pan obstruye esa entrada demasiado tiempo te mueres.

Quiero pensar que si alguien estuviera al volante del diseño del cuerpo humano, siendo como son las funciones de respirar y comer vitales para el organismo, habría destinado un poco de presupuesto a hacer entradas separadas.

Para entender cómo el ADN se fue construyendo su propia choza hay que retomar el concepto de que las moléculas tienen la capacidad de repelerse y atraerse entre sí y, a veces, en esos choques, se producen uniones estables que forman nuevas moléculas.

¿Alguna vez has jugado con Geomag?

Si eres un milenial seguro que lo conoces. Se trata de un juego sencillo en el que hay bolas y palos imantados. Es el mejor ejemplo para explicar la formación de las moléculas: las bolas son los átomos, en este caso los CHONPS, y los palos funcionan como puentes que se establecen uniendo los átomos.

Cuando empiezas a jugar con los Geomag te das cuenta de que las opciones son casi infinitas. A una bola le puedes añadir muchos palos alrededor y, cuantos más palos añadas, más bolas pondrás en el otro extremo de cada uno multiplicando así las posibilidades de incorporar más y más piezas.

Si volvemos a esa charca de hace más de cuatro mil millones de años, podemos imaginarnos la molécula de ADN como un Geomag con muchas piezas flotando. Inevitablemente, sus elementos —las bolitas— atraían mediante enlaces a otras bolitas. De esta manera el ADN tenía capacidad de interactuar con otras proteínas del entorno.

Me veo obligada a *tripitir* que todo esto fue una cuestión de azar, pero después de miles de años y muchas interacciones

DATO CURIOSO

ARN VERSUS ADN



El ADN no es el único tipo de material genético que existe. ¡Te presento al ARN! Le recordarás de titulares como: «El SARS-CoV-2 está compuesto por ARN» o «Las vacunas de ARN mensajero pueden constituir la piedra angular de la nueva vacunología».

Las bases nitrogenadas que componen los nucleótidos del ADN son la adenina, la guanina, la citosina y la timina. Por su parte, el ARN es un tipo de material genético con las mismas bases a excepción de la timina, que es sustituida por el uracilo.

Este material genético está especializado en actuar como mensajero, es menos pesado y fácil de transportar.

El ADN por sí mismo no puede dar instrucciones a las células. Necesita el proceso en el que un trozo de su información es fotocopiado en una molécula de ARN. Esta fotocopia, que lleva solo un trocito de información concreto, sale del núcleo y da instrucciones al orgánulo celular que corresponda de hacer lo que le toca.

casuales, el ADN consiguió hacerse con una membrana protectora.

¿Cómo lo hizo?

Mediante un código genético.

Un código es un conjunto de normas y reglas. Por ejemplo, en el código morse dos puntos se traducen en una I; punto y raya, en una A y una sola raya, en una T. Son unas instrucciones que interpretamos para generar un mensaje.

Las bases nitrogenadas del ADN —la adenina, la citosina, la guanina y la timina— y las del ARN —la adenina, la citosina, la guanina y el uracilo— en este caso son como los puntos y las rayas. Según cómo se agrupen y alternen significan una cosa u otra, pero en este caso en lugar de traducirse en letras, se traducen en proteínas. Esto es lo que hace el ADN, codificar información que, cuando se traduce, da lugar a estructuras proteicas.

Para decepción de muchos tengo que subrayar que esas proteínas no aparecen de la nada, sino que se componen de aminoácidos que están cerca del ADN. El ADN atrae a los aminoácidos y estos se organizan según dicta el código genético para formar las proteínas indicadas.

Así que esas proteínas, en lugar de alejarse, permanecieron cerca del ADN atrayendo a otras moléculas orgánicas que formaron una membrana alrededor.

LAS FUNCIONES DE UN SER VIVO

El problema de las membranas es que son estructuras débiles que necesitan renovar sus elementos para no desintegrarse dejando desprotegido el ADN. Por suerte, el material genético lleva instrucciones para seguir renovando constantemente esa membrana.

Reincidiendo de nuevo en el concepto de que no podemos generar materia de la nada, es necesario extraer elementos del entorno que se incorporen a la célula, los famosos CHONPS. Estos elementos constituyen los ladrillos celulares y cuantos más logra incorporar, más éxito tendrá protegiendo el ADN del entorno.

Aparece aquí la primera función de un ser vivo: la alimentación.

Cuando comemos, ingerimos macronutrientes y micronu-

trientes. Los macronutrientes son los lípidos, los carbohidratos y las proteínas. Cuando comemos *pizza* cuatro quesos, metemos todo junto, a lo bestia. A riesgo también de morir ahogados por atragantamiento, como ya sabéis.

Es el sistema digestivo el que se encarga de separar todo esto hasta la unidad mínima, las moléculas. Podemos pensar en ellas como en piezas de Lego. Nos comemos un barco pirata y luego el cuerpo, con las piezas sueltas, construye lo que necesita.

En nuestro caso, el lípido de una aceituna, con hueso, *of course*, puede pasar a ser un lípido de membrana de una célula del bazo o grasa en un adipocito del michelín.

Todo esto de renovar tabiques y paredes parecía la mejor idea para cuidar el preciado ADN. Todo iba genial hasta que los mecanismos celulares de alimentación empezaron a caducar. Dejaban de incorporar CHONPS con la misma eficacia, la célula se quedaba sin alimento, las murallas se rompían y el ADN se iba al garete. Había que encontrar la forma de proteger ese material genético a toda costa.

¡Hagamos una copia!

¡Una copia con mecanismos celulares jóvenes que duren más tiempo!

Este proceso es lo que conocemos como reproducción, otra de las funciones de un ser vivo, que consiste en hacer una réplica del material genético en un recipiente joven.

Para mí fue ahí donde dio comienzo un tipo primigenio de cultura. Una carrera de relevos de información genética que pasa de células viejas a células jóvenes para sobrevivir.

La reproducción no es más que un viaje en el tiempo. El ADN busca la forma de persistir pasando de generación en generación. Para ello necesita hacer copias de sí mismo, ya que él está atado al individuo que ha creado. Gracias a la ayuda de proteínas capaces de interpretar sus instrucciones, el ADN se ha construido su propia casita.

En los individuos denominados eucariotas, esta casita tiene una habitación del pánico, un núcleo celular en el que está condensado todo el material genético, muy bien empaquetado y almacenado, alrededor del cual existen un montón de componentes que trabajan para alimentar a la célula. Algunos de esos componentes entran y salen del núcleo para preguntarle qué hacer, ya que allí está la respuesta a casi todo.

La casita que rodea al núcleo y a los orgánulos celulares que trabajan para la supervivencia del individuo es la ya mencionada membrana celular, que los protege a todos. Es la muralla que regula qué sustancias pueden entrar y cuáles no.

La aparición de la membrana celular nos lleva también al tercer requisito para ser un organismo vivo: la relación.

La membrana que decide qué entra y qué sale, a su vez, está interpretando el entorno. Está leyendo sus señales químicas y emitiendo otras en respuesta.

Además de alimentarse y reproducirse, la definición de vida implica la capacidad de relación con el entorno.

DE CÉLULAS A ORGANISMOS PLURICELULARES

Los primeros organismos vivos eran claramente unicelulares. Bastante tenían con lo que tenían como para pensar en juntarse con otros. Pero como ya hemos visto, una vez que estaba ya controlado el asunto de proteger al ADN, hacer copias y demás, se vinieron arriba y vieron que si esas copias se quedaban pegadas al organismo original podían conseguir aún más alimento en equipo.

Ciertamente, el tipo de replicación del ADN y la partición de las células para hacer organismos pluricelulares y reproducirse es distinto, pero vamos a obviar esto y a quedarnos con que las células que trabajaban juntas obtenían ciertos beneficios.

Esto ocurría en algunas especies, otras estaban bien como

estaban y evolucionaron como organismos unicelulares. Las levaduras que usamos para hacer pan o las bacterias que nos enferman son algunos de esos ejemplos.

Los organismos que sí evolucionaron en estructuras pluricelulares descubrieron las bondades de trabajar en equipo. La ventaja más importante es que las células podían especializarse. Unas podrían encargarse de la reproducción, otras de encontrar alimento y otras de excretarlo. ¡Qué faena! Estas creo que fueron las que llegaron tarde a la distribución de tareas.

Resulta fascinante pensar que una célula original, una célula madre, puede dar lugar a todo un organismo, como una semilla. Esas células tienen la capacidad de convertirse en todos los tipos de células de un organismo. Van replicándose a medida que crece el organismo y, según los estímulos que recibe cada una del entorno, se van diferenciando. Por ejemplo, si a una de esas células le toca estar en el cerebro, se convertirá en una neurona. A la que le toque estar en la boca, podrá convertirse en papila gustativa, y así ocurre con todas.

EL ADN INTERACTÚA CON EL HÁBITAT

El material genético es el que dicta cómo es el proceso en el que a partir de esas células originales se genera el resto del organismo. Tu ADN es el que determina qué células se replican, qué hormonas se producen, cuánto creces, etc.

Todo esto nos lleva al genotipo y al fenotipo. Más adelante hablaremos de ellos en detalle, pero ahora mismo solo necesito que tengamos una comprensión superficial de los mismos.

Imagina que estás montando un mueble de IKEA porque no tienes un duro para pagar un mueble de verdad. En las instrucciones de tu estantería LIVSTID está determinado cómo tiene que ser el mueble. A veces, vienen incluso instrucciones para ampliarlo y ponerle otros complementos. Esas instrucciones

determinan todo lo que ese mueble puede ser. Ese es el genotipo.

Después de tu aventura de bricomaniaco utilizando ese genotipo como guía, el resultado final, el mueble, es el fenotipo.

Parece muy sencillo, sin embargo, todos sabemos que de las instrucciones al resultado final puede haber variaciones. Las instrucciones a veces no contemplan que vas a rascar el tablero por no poner una manta debajo como recomiendan, tampoco contemplan que te vas a cargar el cutrísimo contrachapado pasándote de vueltas con el tornillo o que van a sobrar cinco tacos y tres alcajatas que no parecían necesarios. Por no hablar de que, por supuesto, no tienes la más mínima intención de anclar el mueble a la pared.

Pues bien, la interacción de tu destreza con las instrucciones es lo que denominamos epigenética. Así, con unas mismas instrucciones, algunas variables pueden dar lugar a resultados diferentes.

El mejor ejemplo para entender esto es pensar que tu prima, que montó toda su casa ella solita, y tú, que no te da para hacerla o con un canuto, os ponéis a montar el mismo mueble. A pesar de tener el mismo material e idénticas instrucciones, un mismo genotipo, vuestro fenotipo final tendrá diferencias.

Esto pasa también con los gemelos monocigóticos, denominados también gemelos idénticos. Nacen con un mismo genotipo. Suelen criarse en un mismo ambiente con recursos similares, pero las pequeñas variaciones van provocando que la expresión de sus genes sea distinta. Lo que ocurrirá en este caso es que condiciones distintas en el ambiente estimularán lecturas de partes distintas del ADN.

Nuestro material genético tiene más instrucciones que una calculadora CASIO. Imagino que a mis veintinueve tacos aún puedo usar esta referencia. No sé ahora, pero hace cuatro años, cuando daba clases particulares a *nenés* pertenecien-

tes a la generación Z, aún se usaban. Tan desactualizada no estaré.

El asunto es que solo vamos a hacer con ella sumas y restas, y a probar a ver si es de las que guardan texto que nos pueda inspirar en un examen.

¿Resulta que vas por ciencias y tienes que aprender a hacer complejas funciones matemáticas?

Pues entonces consultarás las instrucciones si no tienes un buen compañero que pringue por ti. Pero, aunque hagas la carrera de matemáticas, no vas a leerte las instrucciones enteras nunca y, si lo has hecho, házmelo saber para que pueda bloquearte en mis redes sociales.

El ADN funciona igual. En su interior hay ahí una pila de instrucciones, pero el cuerpo va leyendo las pocas que necesita y el resto las deja tranquilas. Si no se reúnen las condiciones adecuadas, nunca se leerán.

En Galicia hay una gran emisión de gas radón, vivimos rodeados de granito, qué le vamos a hacer. Se habla incluso de que los gallegos somos adictos a este gas y de que, cuando nos vamos, tenemos mono. De ahí la morriña. Como mujer con un máster en neurociencia, ni confirmo ni desmiento. Hay fantasías que es mejor dejar correr. Pero, como divulgadora, te diré que no encuentro suficiente evidencia para afirmar tal cosa.

Total, que me lío. El gas radón es cancerígeno, de eso sí tenemos evidencia.

Si una pareja de gemelas idénticas fuesen separadas dramáticamente al nacer, al más puro estilo Tú a Londres y yo a California, la presión del entorno sobre el ADN de la gallega podría estimular la lectura de partes del mismo que diesen lugar a una proliferación descontrolada de células, genes cancerígenos.

El material genético está muy empaquetado y condensado, las células van desempaquetando las partes que necesitan en

cada momento y empaquetando las que no necesitan. Tenemos genes que no se van a leer nunca porque no se reunirán las condiciones ambientales para que eso ocurra. Por ejemplo, en una herida las células de la piel de esa zona activan sus genes de replicación implicados en procesos de cicatrización. Las neuronas, ante daños cerebrales, son capaces de adaptarse asimilando algunas de las funciones de las neuronas perdidas.

A pesar de tener un ADN idéntico, la londinense estaría tan *pichi* y la gallega podría desarrollar un cáncer. Posiblemente se lo merezca, por decir cosas como «Galifornia». Soy muy *brutiña*, lo sé.

Si aplicamos esto de la interacción con el ambiente a una planta, un olivo en su embrión, la semilla tendrá instrucciones para producir aceitunas. Si lo plantas en mal sitio y no tiene los aportes nutricionales adecuados, no verás una oliva ahí en tu vida. Sin embargo, si lo plantas en una tierra fértil, rodeada de olivos que permitan la polinización cruzada y demás condiciones idóneas para que tu cultivo sea muy prolífico, tu arbolito se llenará de aceitunas que puedes estropear metiéndoles anchoas por detrás. Últimamente no le veo sentido. ¡Aceitunas con hueso siempre!

Así pues, nos va quedando claro que el entorno es un factor clave para que, a pesar de tener unas instrucciones escritas, el ADN dé lugar a recipientes distintos para sí mismo según sus necesidades y estímulos ambientales.

ADAPTACIÓN AL ENTORNO

Los entornos en los que crecen los seres vivos son los ecosistemas. Ambientes donde, como en *El rey león*, se da un ciclo sin fin que lo envuelve todo. Pararé antes de continuar por *Pocahontas* y acabar revisando todo el repertorio Disney. Que

me conozco y enseguida me vengo arriba entonando el «*Gran Alí, príncipe Alí, Alí Ababua. Al pasar se han de inclinar siempre ante ti. De gala se han de vestir; sultán, princesa y visir. Que el mozo es soltero y a boda me huele aquí. ¡Pam, pam, pam, pam!*».

Lo siento. Nadie estaba aquí para pararme, pero sé que sigues cantando en tu cabeza.

Ese ciclo entre materia orgánica e inorgánica se da entre las rocas, el suelo, las plantas, las bacterias que viven en sus raíces, los pájaros de las ramas, etc.

Los seres vivos interactúan con el ecosistema y con sus recursos.

Al hacer referencia a los recursos, no se habla solo de comida. Las necesidades vitales de cada especie estarán cubiertas por los elementos del entorno. Estos pueden proporcionar buenos refugios, áreas de camuflaje y protección, temperaturas adecuadas, espacios de encuentro con otros individuos, etc. Cuanto mejor se adapte una especie a ese ecosistema, tendrá más éxito explotando todos esos recursos.

Hemos visto que el ADN es el encargado de construir al individuo. En él residen las instrucciones para adaptarlo lo mejor posible a esas condiciones.

Cuando las instrucciones que dan forma a ese ser vivo están muy bien adaptadas al entorno, el individuo en cuestión sobrevivirá mejor en él. Esto equivale a decir que su material genético tendrá oportunidades de reproducirse. Solo o con otro individuo que también cuente con buenas características para lograr cierta longevidad.

A pesar de hablar de individuos, esto ocurre con comunidades enteras, con especies, que van adaptándose al ambiente. Unos individuos sobreviven y otros no, a la vez que compiten con otras especies por los mismos recursos. ¿Quién ocupará esa cueva? ¿Una familia de osos? ¿Una familia de lobos?

Es común que una especie se adapte mucho mejor que las

otras. Si dos especies de pájaros que comen nueces comparten hábitat, pero una de ellas tiene una forma de pico que les permite consumirlas con más éxito, irán tan sobradas de alimento que comenzarán a reproducirse y prosperar en ese ambiente.

Puede darse la circunstancia de que esa especie se vuelva tan prolífica que se sature el ecosistema. Demasiados pájaros para un mismo número de árboles y nueces.

Cuando esto ocurre, esa especie necesita explorar otros ambientes para conseguir más alimento. Son tantos que ya no hay para todos. El problema del cambio de ambiente, de ecosistema, es que hay que adaptarse al nuevo y ahí es donde aparece el concepto de evolución: las instrucciones de la vida, el ADN, adaptándose a las necesidades del entorno para prosperar y competir con otras especies. Lo que viene a ser la selección natural. Concepto más empleado para insultar a inconscientes que hacen cosas como *balconing* o botellones sin mascarilla que para hablar de Darwin.

SELECCIÓN NATURAL Y EVOLUCIÓN

Hoy en día ya tenemos muy claro cómo funciona la selección natural, nos parece muy evidente. Sabemos que los individuos que reúnen las características óptimas para sobrevivir en un ecosistema son aquellos que podrán reproducirse y, por lo tanto, los que logran pasar su ADN a la siguiente generación. La propia naturaleza determina quién sobrevive.

En el instituto, siendo yo una niñata de doce años, me dio la risa con el lamarckismo. Me reí de un ilustre naturalista que propuso una de las primeras teorías de la evolución. Me reí de aquello como si de enseñar creacionismo en 2021 se tratase.

Jean-Baptiste Lamarck, a principios del siglo XIX, no sabía nada del ADN. El aparato con el que Rosalind Franklin inmortalizó su estructura no estaba ni calentando para salir.

Bastante me parece que ese grandísimo naturalista y filósofo se hubiese percatado de que las características de los animales estaban muy bien emparejadas con el entorno. Jirafas con cuellos largos para llegar a las hojas altas de las ramas, su alimento preferido. Aquello no podía ser casual. También tuvo la perspicacia de observar que los hijos heredan las características de los padres.

Donde se le hizo bola el asunto fue al postular cómo se heredan dichas características. Se vino arriba y dijo que los caracteres adquiridos durante la vida de un individuo pasaban directamente a la descendencia.

Esto, dicho de forma dramática, es como si pudiéramos heredar el moreno de la playa, una herida o los musculitos que te curraste durante años de entrenamiento de fuerza. Ya sabemos que esto no funciona así.

Lamarck era creacionista, como todos en su época. Creía que las especies, tal y como las conocemos, las hizo Dios y no se hable más. Con la información que había en 1800, se dio cuenta de que aquello no iba a ninguna parte. Lo dejó y se montó su movida que, aunque equivocada, era más próxima a la realidad.

En Estados Unidos, la primera potencia mundial, cada vez que viene a visitarnos vida inteligente de otras galaxias, nuestros representantes siguen enseñando el creacionismo. Así que, ¡menos risitas con Lamarck!

Estamos ya entrando en el meollo de la evolución, y no hay nada más estimulante para evolucionar que cambiar de entorno.

Yo no he tenido la oportunidad, pero la gente habla maravillas de los Erasmus, de vivir en el extranjero y de exponerse a nuevos entornos. Estas situaciones estimulan el desarrollo de recursos que no sabías ni que tenías. Aprendes un idioma en meses, te quitas la vergüenza de un plumazo y, si estás sin un duro, adaptas tu metabolismo a vivir a base de arroz. Entor-

nos distintos promueven, generación tras generación, la aparición de nuevas características o la lectura de partes del ADN que estaban ahí, pero que hasta ese momento no habían hecho falta. Las nuevas generaciones cada vez tienen menos parecido con la original. Esto es así hasta el punto de que una misma especie viviendo en entornos distintos durante muchas, muchas, pero que muchas generaciones, da lugar a dos especies distintas.

Entiendo que ahora surjan dudas. ¿Cómo que especies distintas? ¿No eran la misma? ¿Qué diantres es una especie?

Como fan incondicional de *Jurassic Park*, película que me hizo querer ser arqueóloga durante mucho tiempo, voy a usar a los *dinoseos* como ejemplo.

Imaginad una población de pequeños dinosaurios que viven en un entorno donde hay un montón de gusanos que constituyen su dieta básica. Esta población tiene las condiciones idóneas para sobrevivir allí. Empiezan a explotar los recursos de la zona y a reproducirse. En un par de generaciones hay muchísimos minidinosaurios viviendo allí. Tantos que ya no caben. Comienza incluso a haber conflicto entre ellos.

Parte de la población decide irse. Llegan a un entorno donde hay gusanos de los que les gustan, pero no tantos. Sin embargo, hay un montón de gusanos parecidos en las ramas de los árboles.

Es aquí donde entra en escena la fantasía de las mutaciones, momento *Xmen*.

¡Que no paren los pelicolones!

Cuando se hacen copias del ADN, no siempre salen bien. Factores externos y aleatorios que intervienen en el proceso de replicación provocan la aparición de modificaciones con respecto al original. Como te decía, mutaciones.

Si la réplica del material genético no es igual a la del antecesor, el organismo que desarrolle tampoco lo será. Este azar

puede dar como resultado características beneficiosas o catastróficas para el individuo que porta ese ADN.

Imagina que dos de esos minidinosaurios se reproducen, y que su descendencia tiene una mutación que impide el desarrollo de las patas. Lo más probable es que esos individuos acaben siendo la merienda de un velociraptor, o algo así de dramático, y mueran. Pero si, por el contrario, esa mutación hace que ese individuo tenga unas patas que le permiten saltar más que sus colegas, ese dinosaurio llegará más fácilmente a los gusanos de las ramas más altas. Le va a sobrar alimento, va a fardar con el resto de los dinosaurios, va a reproducirse y a pasar esa mutación a su descendencia.

La estirpe que siga a ese dinosaurio será una muy bien adaptada a ese nuevo entorno. Dinosaurios saltimbanquis que pueden alimentarse de todos esos gusanos de las ramas, hasta el punto de diferenciarse tanto de la especie original que ya son otra especie distinta.

Cuando el hecho de saltar mucho se extienda en la población, volverá a ocurrir lo mismo. Mucho dinosaurio saltimbanqui para una población de gusanos cada vez menor. Parte de la población se irá a buscar nuevos ecosistemas, adaptándose a ellos gracias a mutaciones aleatorias beneficiosas que se van acumulando gracias a la reproducción.

Empezamos este ejemplo con una especie de minidinosaurios que se alimentaban en el suelo. Esta especie sigue adaptándose a su entorno generación tras generación, pero no desaparece. Parte de la especie original había emigrado en busca de más alimento dando lugar a la especie *saltimbanqui*.

Si echamos una mirada adelante, esta segunda especie podrá derivar en una tercera. Podrán aparecer mutaciones que den lugar a un tipo de pseudoalas que permiten llegar aún más alto para alcanzar otro tipo de gusanos. Así aparecería, a través de las generaciones y adaptaciones, una tercera especie.

Este proceso ha hecho que, desde unas moléculas sueltas de ADN en un charco, por así decirlo, fuesen apareciendo especies distintas capaces de conquistar nuevos entornos. Del agua a la tierra. De la tierra al aire.

Algunas especies incluso volvieron al agua, como es el caso de los mamíferos marinos. Estos últimos tienen antecesores terrestres en común con el resto de los mamíferos y por eso tienen pulmones y no branquias, entre otras muchas adaptaciones al medio acuático.

Pensar en evolución como algo lineal, como si lo anterior fuese peor o menos evolucionado es un error. Cada especie tiene sus necesidades. Si los *dinoseos* que comen en el suelo siguen teniendo gusanos en el suelo y están en un equilibrio con los recursos del entorno, están en condiciones idóneas para sobrevivir ahí. Una bacteria que vive en nuestra piel está tan evolucionada como nosotros. Ambas especies llegaron al siglo XXI, cada una adaptada a su entorno y necesidades. Me atrevo a decir incluso que la bacteria está más adaptada que nosotros, ya que no necesita ni yoga, ni detox ni flores de Bach.

AL ADN LE DAMOS IGUAL

Un concepto verdaderamente traumático es que a nuestro propio ADN le damos exactamente igual. A veces, cuando hablan de que Dios aprieta pero no ahoga, pienso en nuestro material genético. Él nos crea, tiene las instrucciones de lo que vamos a ser y según cómo ve el asunto en nuestro ambiente va tomando decisiones de qué instrucciones usa y cómo nos adaptamos.

No nos llamemos a engaño, le importa bien poco nuestro bienestar y nuestra comodidad. Solo quiere que estemos adaptados para sobrevivir. Le basta con que estemos lo suficientemente bien para poder reproducirnos.

Si el ADN hablase, te diría que sí, que le das igual: tu precariedad, tu síndrome de la impostora, tu teta izquierda más caída que la derecha, tus huevos colgaderos o tu intolerancia a la lactosa se la bufan. Él, lo único que quiere es sobrevivir dentro de ti y que te reproduzcas. Que te juntes con otro individuo y que cada uno ponga su mitad de ADN para que, muy a su pesar, solo la mitad de sus genes sobrevivan. Y digo muy a su pesar porque, si nuestro ADN pudiese elegir, nos clonaría a nosotros mismos, siendo él el único superviviente. Los demás no le importan. Como diría mi amiga Ana: ¡cada palo que aguante su vela!

Insisto en que nos creemos muy guais con nuestras características como especie. Nos vemos como inteligencias superiores en la cima de no sé qué pirámide.

Realmente, en lo que al ADN respecta, hay esponjas de mar que se lo montan mejor que nosotros.

Piensa lo siguiente, si mezclo mi ADN con el de otro individuo, toda esa energía invertida en alimentarse, adaptarse al entorno y demás trámites de la existencia, tendrá como resultado final que tan solo la mitad de tu información genética pasa a la historia. Se supone que la tuya es de lo mejorcito que hay porque, al fin y al cabo, ahí estás. Quién sabe qué genes tendrá el otro individuo, al que igual le quedan dos telediaros.

La solución a esto la ejemplifican otra vez Watson y Crick, quienes tuvieron unas dilatadas carreras como investigadores. Con el trabajo de Rosalind postularon una estructura del ADN en 3D verdaderamente novedosa. Aun así, pasar a la historia compartiendo portada con ella no era una opción. Llevaron a cabo lo que sería una reproducción asexual. El 100% de la información de un individuo pasa a la siguiente generación. Al resto que le den.

REPRODUCCIÓN ASEXUAL

Yo sé que estás aquí para hablar de sexo, pero me resulta indispensable hablar antes de lo que no lo es. Hay tantos conceptos que trabajar antes de entrar en materia que, cuanto antes nos saquemos la reproducción asexual de encima, mejor.

A estas alturas ya tenemos claro en qué consiste la reproducción: en que la información genética pase de una generación a otra.

Vamos a ampliar el contenido un poco más, en plan clase avanzada. Hablemos de cómo se hacen copias del ADN para esa reproducción.

Nuestras instrucciones genéticas están compuestas por lo que se denomina estructura en doble hélice. Cada una de esas hélices está compuesta por las siguientes bases nitrogenadas encadenadas: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). Cuando las bases nitrogenadas se unen a un azúcar constituyen su estructura completa: los nucleótidos.

Como veíamos en la figura 2, las adeninas se juntan a las timinas de la otra cadena y las guaninas a las citosinas. Esto da lugar a cadenas complementarias, como aquel tatuaje hortera que no hay que hacerse nunca con un ex. Que ya sé que cuando os lo hicisteis erais pareja, pero bueno. Fuera como fuese acabasteis cada uno con medio corazón en la muñeca. Solo te hace falta ver una mitad para saber que por ahí andaré otro tonto suelto con esa cosa tatuada.

Pues con el ADN igual. Si vemos una de las hélices, sabemos lo que hay en la otra.

Si yo veo una cadena que es TTACGCTA, sé que la otra es AATGCGAT.

Venga, que te pongo un ejercicio para que pruebes tú. Empareja los nucleótidos: las timinas con adeninas y las guaninas con citosinas.

ATCCGTATGCGATCCCCGATCGATTTCGATCGGCTAGCT

Es bastante entretenido esto de las dobles hélices. Pero basta ya con el momento sopa de letras y continuemos con la chicha del asunto.

Estos nucleótidos son información, como código morse o códigos binarios de ceros y unos.

Como explicaba antes, debido a sus cargas y a su capacidad de atracción e interacción, las distintas proteínas pueden unirse al ADN y dar lugar a diferentes reacciones.

En este caso, en el que se pretende obtener copias, lo que ocurre es lo siguiente:

- Una proteína se une al ADN y separa esa doble hélice. Como si se tratase de abrir una cremallera.
- Otras proteínas llegan y ponen una señal en ambas partes de la cremallera. Señal que será interpretada como guía para empezar a copiar esa información.
- Por último llegan las proteínas que van a llevar a cabo la gran tarea de copiar. Toman como referencia esas señales guía y empiezan a generar cadenas complementarias para ambas partes separadas. Lo hacen atrayendo a nucleótidos.

Esta es la forma básica de replicación del ADN. Si dominas algo el tema, estarás pensando que hay muchísimas más proteínas implicadas en este proceso, que no siempre ocurre igual la replicación y bla, bla, bla. Cierto, pero creo que esta sencilla explicación nos vale para continuar con lo esencial. De una única cadena, gracias a la interacción con proteínas del entorno, podemos construir más cadenas de nucleótidos tomando como referencia la original. Fin del asunto.

Cuando replicamos todo el ADN de un individuo y lo encapsulamos en uno nuevo, estamos dando lugar a una reproducción asexual. Estamos dando lugar a un individuo igual al anterior.

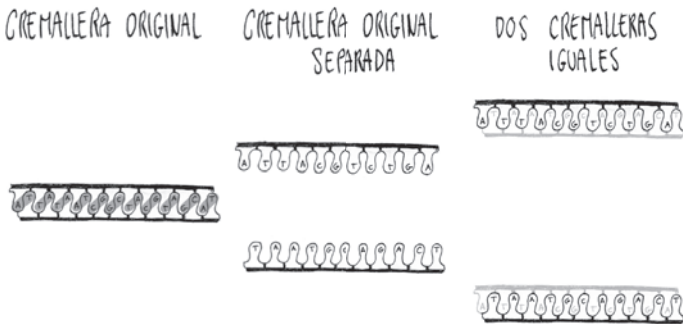


Figura 3. Esquema de replicación de las cadenas de ADN

Aparecen así distintas formas de reproducción asexual. Hay células que duplican su ADN y dividen su membrana en dos, dando lugar a dos células más pequeñas que la original, pero ¡ya crecerán! Este proceso es conocido como bipartición.

En otros casos, la copia del ADN se pone en un trozo pequeño de membrana y ya está. Es la gemación. De esta forma tenemos una célula original grande y otra pequeña que crecerá hasta ser igual que la antecesora.

Existen muchas más formas de reproducción asexual, pero el concepto es ese. Hacer clones o, por lo menos, intentarlo.

Sin embargo, debido a las mutaciones, esos errores en la copia dan lugar a individuos ligeramente distintos al original. Por eso, a pesar de copiar siempre la misma información, puede haber evolución en la reproducción asexual. Los errores pueden ser fatales e impedir la supervivencia, pero también pueden ser los responsables de grandes éxitos adaptativos. Como ese tatuaje que compartes con tu pareja: si rompéis es un desastre. Ahora bien, si seguís juntos será porque os habéis adaptado con éxito el uno al otro. Aunque en ese caso, también lo siento por vosotros, hay cosas a las que es mejor no adaptarse.