

Telmo Pievani

# Imperfección

Una historia natural



**Alianza** editorial  
El libro de bolsillo

Título original: *Imperfezione. Una storia naturale*

Diseño de colección: Estrada Design  
Diseño de cubierta: Manuel Estrada  
Fotografía de Lucía M. Diz y Miguel S. Moñita

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

© 2019, Raffaello Cortina Editore  
© de la traducción: Francisco José Martín Cabrero, 2022  
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2022  
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15  
28027 Madrid;  
[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)



ISBN: 978-84-1148-038-3  
Depósito legal: M. 19.267-2022  
Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: [alianzaeditorial@anaya.es](mailto:alianzaeditorial@anaya.es)

# Índice

- 11 1. Una sutil imperfección
- 12    Un vacío, lleno de todo
- 14    Anisotropía
- 18    Contingencia
- 21    Acabemos con la comprensión retrospectiva
- 25    Choques de billar cósmico
  
- 30 2. La evolución imperfecta
- 31    La imperfección más genial
- 34    El gran compromiso del pluralismo celular
- 40    Desde el punto de vista de un microbio
- 45    El sexo y otras catástrofes
- 52    Un mundo de posibilidades
  
- 58 3. Imperfecciones que funcionan
- 59    El alce irlandés y las dos primeras leyes de la imperfección
- 64    La huella de la inutilidad
- 71    Rarezas útiles
- 78    El problema de los órganos perfectos
- 84    Lo posible es más grande que lo real
  
- 90 4. La huella de la inutilidad en el ADN
- 91    Genes atávicos y pollosaurios

- 95 Dos tipos de basura  
100 Del *Junk* ADN al *Jungle* ADN  
106 La ley de la cebolla
- 114 5. Un revoltijo proverbial  
115 Un cerebro tardío  
119 Dos pequeños cerebros desmontan una teoría  
124 Cuántos compromisos para un cerebro  
128 Bricolaje cerebral  
134 Nosotros y los otros de nosotros
- 139 6. El sapiente imperfecto  
141 La más imperfecta de las revoluciones: caminar  
148 Cómo hacer de la fragilidad una fuerza  
152 Perdone, ¿puede repetir?  
156 Siempre con un poco de retraso
- 163 7. ¿Comprarías un coche de segunda mano al  
*Homo sapiens*?  
165 La hermosa imperfección de un teclado  
173 Las empresas del sedicente *sapiens*  
178 Terraplanistas en crucero  
184 No estamos equipados para la previsión
- 191 A modo de conclusión: las leyes  
de la imperfección
- 201 Mínima bibliografía sobre la imperfección

*A Carlo, Gianluigi, Roberto y Sandro,  
la banda que transforma la imperfección en arte*



# 1. Una sutil imperfección

Y todo comenzó

Demostrado está que las cosas no pueden ser de otro modo: porque habiéndose hecho todo con un fin, éste no puede menos de ser el mejor de los fines. Nótese que las narices se hicieron para llevar gafas, y por eso nos ponemos gafas; las piernas para las calzas, y de hecho usamos calzas; las piedras para ser talladas y hacer castillos, por eso Su Señoría tiene un hermosísimo castillo y el barón más principal de la provincia ha de ser quien está mejor aposentado; y como los cerdos nacieron para que se los coman, así todo el año lo pasamos comiendo tocino. En consecuencia, los que afirmaron que todo está bien, han dicho una tontería: debieron decir que nada puede estar mejor.

VOLTAIRE, *Cándido, o el optimismo*

En principio fue la imperfección. Una desobediencia al orden preconstituido, una rebelión sin testigos, en el corazón mismo de la más negra de las noches. Algo se rompió en la simetría, hace 13.820 millones de años. Se levantó apenas un soplo imperceptible, y fue así como el

gran lápiz del universo cayó desastrosamente de un lado y no de otro. Una pequeñísima, infinitesimal, anomalía se hizo fuente y origen de todo.

## Un vacío, lleno de todo

Las extraordinarias investigaciones físicas de los últimos años sobre lo infinitamente grande y sobre lo infinitamente pequeño, hijas todas ellas de audaces predicciones del siglo pasado, convergen en la hipótesis de que nuestro universo no es más que la incesante metamorfosis de un estado de perfecto vacío. Sí, en efecto, digámoslo cándidamente: el vacío. Ausencia de materia, campos, partículas. Y sin embargo el vacío del que todo comenzó no era la nada; al contrario: era todo. Aquel todo en potencia perduraba en un estado de equilibrio energético. El vacío primordial sin embargo no era inmóvil: su energía fluctuaba. Era un vacío cuántico, repleto de oscilaciones casuales, de choques simétricos y recíprocas anulaciones entre partículas y antipartículas (Tonelli, 2017). Perfecto en su media energética global, pero inquieto, como en ebullición. En sí portaba todo y lo contrario de todo. Ese vacío atravesado de temblores era la matriz primigenia de todas las historias posibles. Aunque en sí mismo era completo, y por tanto perfecto, era también inestable.

Luego sucedió algo que Lucrecio, el gran poeta latino, en el *De rerum natura* y a su vez retomando una idea ya contemplada por su maestro Epicuro, definió como *climamen*. Los primeros atomistas griegos imaginaban que



el estado primordial del mundo fuese una lluvia eterna de partículas que en modo perfectamente regular caían desde siempre una al lado de otra de manera paralela. Después, empero, esa armonía se había roto, y una minúscula perturbación desviaba la trayectoria de un átomo, que chocaba con otro, y luego con otro y aún con otro, un choque en cadena que alteraba de ese modo el cuadro determinista inicial y desencadenaba la historia del cosmos en toda su magnífica imperfección. Todo comenzó, pues, a partir de una pequeña desviación fortuita, de un descarrilamiento casual. Algo así, algo tal vez muy similar, y también de manera igualmente casual, podría haber sucedido en una cualquiera de las infinitas fluctuaciones en el vacío cuántico original. Fue de por sí una fluctuación mínima, igual o semejante a tantas otras. Tal vez fue que en presencia de una elusiva partícula emparentada con el bosón de Higgs, el inflatón, la simetría primitiva se rompió. El estado perfecto de vacío saltó en pedazos y una burbuja inflativa, a su vez empujada desesperadamente por la energía del vacío, hizo explotar el espacio-tiempo a una velocidad incalculable (Tonelli, 2016).

Aquella primigenia imperfección, ocasionada por la rebelión de los inflatones, imprimió una primera dirección a la historia de todo lo que conocemos; siempre que, en propiedad, de historia pueda hablarse, pues todo aquello sucedió en una fracción cuasi infinitesimal de segundo. Después de otro de esos imperceptibles instantes, los inflatones se autoalimentaron y la explosión creció exponencialmente hasta generar un espacio-tiempo ahora macroscópico, incandescente, lleno de partículas sin masa, veloces como la luz y obedientes a una sola fuerza unifi-

cada. Luego la inflación ralentizó de golpe, casi como si se tratara de un arrepentimiento. Por un trillonésimo de segundo la simetría universal pareció restaurar un estado de aparente perfección, pero duró –si así puede decirse– apenas nada. Tras la fase inflacionaria paroxística, la fuerza de gravedad empezó a actuar, el descenso de la temperatura hizo condensar los bosones de Higgs, la fuerza electromagnética se separó de la fuerza nuclear débil, y a su vez ambas se separaron de la fuerza de gravedad. Las partículas empezaron a interactuar con el omnipresente campo escalar de Higgs, encontrando diferentes resistencias y por tanto dando lugar a su misma diversificación. Tales partículas, desaceleradas de ese modo por el campo, adquirieron masas distintas: quark, leptones y bosones mediadores de fuerzas.

Otra anomalía se había imprimido en el mundo de manera irreversible. De ella salió una exótica biodiversidad de partículas elementales, tanto las que han sobrevivido hasta hoy como las que se han extinguido en el tiempo. El resultado fue que, a partir de esa segunda asimetría, hicieron su aparición la materia visible, quizá también la materia oscura, la luz y las cuatro fuerzas fundamentales. Tomó forma, de consecuencia, la estructura del universo tal como la conocemos. Y tan sólo había pasado un inmaculado segundo.

### Anisotropía

Contemporáneamente, una tercera imperfección, ligerísima pero fundamental, influyó para siempre en el curso

de los eventos. Por razones aún por descubrir, tal vez ligadas a las propiedades del campo de Higgs, la materia prevaleció de muy poco sobre su contraparte especular, la antimateria, decretando el exceso arbitrario de la primera sobre la segunda, tal como se registra hasta hoy. De esa desproporción infinitesimal derivó la naturaleza material, y no la «antimaterial», de nuestra realidad.

Lo que siguió fue una rapidísima cascada de otras muchas asimetrías, ramificaciones y agregaciones: un plasma de quark y gluones, después protones, electrones, neutrones, los primeros núcleos cargados, luego átomos y moléculas, el hidrógeno y el helio. De aquel segundo se pasó a una edad de 380.000 años del inicio –siempre que *inicio* sea la palabra adecuada visto que no había un *antes*– cuando finalmente la luz pudo separarse de la materia y los fotones se propagaron libremente por todas partes. La radiación cósmica de microondas de fondo, que todavía hoy recibimos, es la señal fósil del primer flash de nuestro universo que se hizo transparente. Impregna desde siempre el cosmos y nos llega del cielo en todas direcciones. A primera vista es muy homogénea, porque se difunde desde el mismo punto y en todas partes, pero no lo es del todo. Observando sus minúsculas ondas y las diferencias de una región a otra del cosmos, de hecho nos damos cuenta de otra importantísima imperfección. La radiación de fondo revela una estructura en forma de tela de araña.

En la fase de agregación de las primeras nubes de hidrógeno y helio, la gravedad no actuó de manera completamente uniforme. Tal vez a causa de la presencia de una red cósmica de materia oscura, las primeras estrellas

y galaxias se formaron en zonas con mayor densidad, separadas de inmensas áreas mucho menos densas e incluso vacías. Las pequeñísimas desigualdades iniciales se convirtieron en centros de atracción en cuyo derredor se formaron los primeros cúmulos estelares y después los galácticos. Por eso la estructura del universo no es hoy uniforme y no todo puede suceder en cualquier parte. Pensándolo bien, cabe decir que el mecanismo de fondo es el *clinamen* de Lucrecio, es decir, una ruptura de la simetría. Si la materia hubiese sido distribuida de manera perfectamente uniforme (es decir, si hubiera sido isótropa), la gravedad habría actuado de igual manera en todas partes y la materia habría quedado bloqueada en su isotropía mientras el espacio-tiempo se expandía. En cambio, si introducimos una pequeñísima anomalía, una desviación minúscula, una perturbación de la isotropía, la atracción gravitacional será ligeramente más fuerte en unas zonas que en otras. Esta anisotropía, por cuanto fuera infinitesimal al inicio, como en el *clinamen*, se amplía y profundiza cada vez más, porque la materia, al adensarse, atrae más materia, la inestabilidad gravitacional aumenta y se crea una estructura diversificada, con profundas disimetrías entre unas regiones y otras. Así fue, en efecto, como sucedió. Todo a causa de pequeñas imperfecciones tal vez ya presentes en el momento de la inflación inicial, imperfecciones que después se ampliaron.

La anisotropía es otra valiosa imperfección del universo, y se encuentra aún hoy en las pequeñísimas diferencias de temperatura (del orden de doscientos millonésimos de grado) de la radiación cósmica de fondo, que es

la fotografía del universo a 380.000 años de edad, además de ser la huella digital de la estructura deshomogénea. De ahí en adelante, aquella configuración de asimetrías en la densidad de la materia será un punto de inflexión que condicionará todo evento sucesivo. Ya no se podrá volver atrás, igual que sucede con un engranaje de piñón fijo. En las partes del universo con mayor densidad de materia la expansión del espacio-tiempo queda ralentizada por efecto de la gravedad. En los puntos más inestables la gravedad hizo que colapsaran masas muy considerables de materia, las temperaturas del interior aumentaron y se encendieron los primeros hornos nucleares de las protoestrellas.

Después de 300 millones de años de oscuridad, el universo se iluminó con innumerables resplandores aislados. Sin aquella imperfección anisótropa, no habría podido suceder, y, de consecuencia, no habrían sido sintetizados, en el corazón de las estrellas, el carbono, el azoto, el oxígeno, el neón, el sodio, el magnesio, el silíceo, y después, poco a poco, los elementos más pesados como el azufre, el calcio y el hierro (Baggott, 2015). El colapso de esas primeras estrellas y luego la energía explosiva liberada por las supernovas diseminaron en las nubes interestelares elementos aún más pesados. De ahí que las estrellas sucesivas, más estables y longevas, tuvieran una composición química más diversificada. En la estructura casual del cosmos se formaron grandes conglomerados de galaxias, grandes murallas, enormes filamentos, cordones estelares, nebulosas. Algunas zonas eran más ricas de elementos pesados, otras lo eran menos. Un gran escenario se preparaba para representar un

drama de resultados imprevisibles. La historia del universo es una larga secuencia de asimetrías. Serviría una teoría de la superasimetría.

## Contingencia

El universo es un lugar peligroso. En sus varias inmensidades se agitaban violentas catástrofes que podrían aniquilarnos en cualquier momento. Inspira, el universo, un sentido de sublime potencia, y sin embargo la física de las infinitamente grandes y pequeñas escalas nos dice que también es precario. Todo es precario. Ha nacido, ha evolucionado, desaparecerá, por muerte lenta y fría o en una gran explosión final. Que haya evolucionado y que un día lejano vaya a morir, es algo que sabemos desde hace varias decenas de años. Que en su historia se hayan alojado el azar y la inestabilidad, lo estamos aprendiendo, con esfuerzo, en estos últimos años. Todo es precario porque no es perfecto, porque no es necesario y completo en sí mismo, porque habría podido ser de otra manera distinta.

Los muy fecundos *clinamen* de Lucrecio, vueltos a leer ahora con el lenguaje de la ciencia del siglo XXI, se convierten en eso que en inglés llamamos «turning points»: puntos de inflexión. Diferencias, a veces minúsculas, que han hecho la gran diferencia (en el sentido de ocasionar lo diferente). Se trata de coyunturas históricas que tienen una doble propiedad: son *imprevisibles respecto a cuanto las precede*, porque de hecho son fruto de complejas interacciones no lineales entre múltiples factores

interdependientes, que, a su vez, también habrían podido hacer posible escenarios alternativos; y son *decisivas respecto a lo que sucede después*, en el sentido de que la bifurcación que ellas introducen influencia causalmente y en modo profundo el curso de los eventos sucesivos. Dicho de otro modo: son imprevisibles porque los estados precedentes del sistema son necesarios pero no suficientes para predecirlas con anticipación, y, a su vez, los estados futuros del sistema son causalmente dependientes de ellas. Se dice entonces que el producto del proceso es *contingente*, en el sentido de que depende fuertemente de su historia anterior, es decir, de la secuencia, cada vez única, de los puntos críticos que lo han precedido.

Dada esta definición, cabe decir que gran parte de los acontecimientos históricos no son precisamente puntos críticos, bien sea porque eran imprevisibles pero no han tenido consecuencias significativas, o bien porque aun habiendo tenido un impacto relevante sobre el futuro eran relativamente previsibles en el momento en que se verificaron. Si cada uno de los innumerables episodios de un acontecimiento fuese un punto crítico, no habría ninguna historia comprensible porque lo que dominaría sería un puro caos semejante al de un hormiguero. Es normal, pues, que muchos hechos sean irrelevantes respecto al curso de los eventos sucesivos. En cambio, si ningún episodio de un acontecimiento fuese un punto crítico, sería inútil esperar con curiosidad el resultado de la historia, visto que todo estaría ya determinado de antemano y escrito desde el principio en las férreas leyes invariantes del proceso.

Las mejores historias, de las muchas que han sido investigadas por la ciencia, por fortuna no caen ni en el primero ni el segundo de estos casos extremos. Las más interesantes son sin duda las vías intermedias, esas historias en las que las leyes y el azar, como decía Charles Darwin, interactúan una y otra vez en los modos y maneras más imprevisibles (Darwin, 2013). En esas situaciones el curso de los eventos tiene una propia secuencialidad, una lógica dictada por regularidades y leyes subyacentes, pero la robustez del proceso (su obedecer a causas recurrentes) no es tal como para poder hacerlo determinista a priori. Podría decirse que el proceso está punteado de inflexiones críticas influyentes, o «accidentes congelados», que desvían su trayectoria, modifican su resultado y lo hacen único.

La contingencia, por tanto, es el poder causal del singular detalle histórico, o, si se prefiere, la dependencia de la historia. La sensibilidad hacia el evento contingente une los procesos más importantes que directamente nos conciernen: la evolución cósmica y biológica; el desarrollo individual; nuestras mismas vidas con sus encuentros determinantes y sus inflexiones cruciales (Kampourakis, 2018). En el incesante tira y afloja entre las leyes y el azar, la contingencia puede asumir grados diferentes. En unas coyunturas, especialmente fluidas, la sensibilidad es alta y muchos puntos críticos abren para la historia una gama de caminos alternativos, ecuamente probables. En otras coyunturas, más cristalizadas, la sensibilidad es baja porque las leyes invariantes del proceso o los vínculos del momento hacen mucho más probable ciertos resultados respecto de otros. ¿En qué fase de tu



vida estás ahora? ¿Fluida o cristalizada, a alta o baja contingencia?

## Acabemos con la comprensión retrospectiva

Todo hace pensar que el grado de contingencia de la historia cósmica y planetaria que nos concierne haya sido siempre bastante alto. Dentro de la imperfecta, y por tanto máximamente fascinante, escena cósmica, nuestra pequeña barriada no tiene nada de especial. Estamos a 27.000 años luz del centro de una normal galaxia espiral, la Vía Láctea, en medio de uno de sus brazos periféricos, la Espuela de Orión. Con sus 100.000 millones de estrellas, por lo menos, nuestra galaxia forma parte de un conglomerado modesto de 50 galaxias conocido como Grupo Local, a su vez uno de los cien que componen el superconglomerado de la Virgen, y, por lo que sabemos, entrará en colisión con la galaxia de Andrómeda dentro de unos 400 millones de años. Nuestra vulgar región es sin embargo suficientemente vieja (10.000 millones de años), puesto que muchas estrellas de primera generación han tenido tiempo suficiente de agotarse y de explotar en supernovas difundiendo un rico menú de elementos pesados en los alrededores, que es, en efecto, lo que para nosotros cuenta más. Una contingencia local favorable, hija de la secuencia precedente de puntos críticos.

En nuestra zona, el polvo de estrellas, es decir, la sopa de moléculas a base de elementos pesados, comprendía también un vasto surtido de compuestos del carbono.

Entre las moléculas orgánicas en circulación había incluso aminoácidos, bases de azoto y otras agregaciones interesantes bajo forma de cadenas lineales de moléculas. A excepción del hidrógeno, toda la materia de la que están hechos nuestros cuerpos proviene de aquellas fábricas químicas interestelares. Hace aproximadamente 4.800 millones de años, más o menos en la época en la que el espacio-tiempo empezó de nuevo a acelerar su expansión a causa del efecto contragravitacional de la energía oscura, sucedió que una fría y negra nube interestelar situada en la periferia de la Vía Láctea comenzó a colapsar. Como en la hipótesis de Immanuel Kant, y también de otros, el aumento de densidad de materia en la nebulosa hizo nacer el Sol con toda una coreografía de planetas que, moviéndose disciplinadamente en el mismo plano y en la misma dirección, giraban a su alrededor.

El universo que nos rodea es muy frío, mediamente tres grados sobre el cero absoluto (es decir, menos 270 grados Celsius). Hay que lograr una combinación verdaderamente afortunada de condiciones físicas para mantener desde hace tres mil millones de años una temperatura confortable sobre la superficie de una roca vagabunda en este gélido cosmos. El azar ha querido, además, que el Sol rote a una velocidad adecuada, que su campo magnético no sea demasiado fuerte y que en su núcleo, en el momento del nacimiento, hubiese una cantidad de combustible (hidrógeno) suficiente como para unos diez mil millones de años aproximadamente. Era, en propiedad, la estrella adecuada en el momento adecuado, a su vez dentro de la nube adecuada.

¿Estamos seguros? Esta idea de lo adecuado, es decir, de tener ni demasiado ni demasiado poco de todo lo necesario, puede hacer incurrir a nuestra mente en engaño. Se trata de hecho de un juicio a posteriori, porque ahora nosotros estamos aquí, en la Tierra, admirando llenos de estupor el cielo estrellado y reconstruyendo de manera científica la historia del universo. Pero la comprensión retrospectiva es el peor enemigo para la comprensión de la evolución, precisamente porque tiende a subestimar los innumerables resultados alternativos que habrían sido posibles a partir de las mismas condiciones. La comprensión retrospectiva hace aparecer necesario y completo, es decir, perfecto, lo que en modo alguno lo es. Nos induce incluso a alterar la realidad.

Mirando hacia atrás una historia contingente, nuestra mente de hecho es llevada a razonar en los términos fatalistas de destino y de diseño, seleccionando unos eventos y dejando de lado otros. Como si verdaderamente no hubiera habido nunca elección. Como si todo hubiese estado ya escrito en las cartas distribuidas al principio. Como si la necesidad hubiese tejido desde siempre su tela. Pero lo cierto es que la inevitabilidad del resultado es un espejismo consolador de la comprensión retrospectiva, la cual nos hace anudar a posteriori las causas y los efectos, el antes y el después, las intenciones y las consecuencias.

El problema es que nuestra mente nos lleva precisamente a razonar de la manera siguiente: cuántas coincidencias, cósmicas y personales, han tenido que darse para que yo esté aquí en este momento; pero entonces no puede ser fruto del azar, era destino que sucediera. Mu-

chos estudios sobre nuestro cerebro confirman esta fuerte actitud psicológica del *Homo sapiens* hacia el animismo y la teleología, es decir, hacia el pensar según finalidades, a la preferencia de narraciones en las que los agentes intencionales exhiben sus objetivos e intentan su alcance. De consecuencia nos gusta, y nos resulta más fácil, pensar que la evolución cósmica y biológica vaya de lo imperfecto a lo perfecto, de lo simple a lo complejo, de lo inorgánico a la materia que piensa.

Así, dando rienda suelta a la fantasía, retiramos de nuestra conciencia el poder de los puntos críticos, de aquellas sutiles imperfecciones y rupturas de simetría de las que depende el curso de los eventos sucesivos. En cambio, si hiciésemos el esfuerzo de comprender la evolución ensimismándonos en las posibilidades que había en un momento histórico dado –y luego, mirando tanto hacia delante como hacia atrás, pero siempre a partir de las potencialidades de aquel preciso momento– entonces se abrirían ante nuestros ojos los múltiples contrafuturos (es decir, los contrapresentes del hoy) de los que estaba preñado el pasado en sus puntos críticos y en sus imperfecciones. No veríamos sólo el único presente que se ha realizado, para justificarlo después como necesario, predeterminado, «natural», incluso inevitable, a la luz del pasado, sino que apreciaríamos la belleza de todas las historias posibles que no se han realizado. Los presentes posibles pero irrealizados son contingentes respecto a (es decir, causalmente dependientes de) eventos del pasado que no se han verificado. Son lo que los filósofos llaman *contrafácticos*, versiones alternativas y plausibles del pasado en las que un cambio en las bifurcaciones críticas ha

conducido a un resultado distinto del efectivamente realizado en la realidad.

La comprensión retrospectiva es un veneno. Libérenos de ella y el futuro nos parecerá sin duda más abierto.

## Choques de billar cósmico

También la historia de nuestra casa planetaria ha estado siempre abierta a las alternativas y lo cierto es que hoy podríamos vivir en contrapresentes muy distintos del nuestro, el cual nos parece especial porque es el único que se ha realizado. Según dicen quienes han tenido la suerte de poder admirarla por sí mismos desde el ojo de buey de una nave espacial, la Tierra vista desde el espacio inspira un sentido de profunda fragilidad y a la vez de responsabilidad hacia ella. Parece verdaderamente única (y lo es, al menos por lo que hasta ahora sabemos). Dicho de otro modo, parece en efecto perfecta para la vida y para nosotros. Pero no hay que olvidar que para llegar a ello se le exigió una carrera planetaria llena de dramas y de contingencias. El planeta verdaderamente perfecto es el que está en equilibrio, es decir, muerto.

No es nuestro caso. En el disco protoplanetario del débil Sol recién formado se desencadenó una baraúnda de colisiones, rompimientos, agregaciones, y todo ello culminó en la supervivencia casual de algunos protoplanetas más grandes: un gigante gaseoso a debida distancia, Júpiter; algunos gigantes de hielo más externos; cinco planetas internos de tipo terrestre (Mercurio, Ve-

nus, Tierra, Tea y Marte); además de detritos y asteroides por todas partes. El tercer planeta del Sol era entonces una congerie incandescente de hierro, oxígeno, silíceo, magnesio, calcio, aluminio, níquel y poco más. Hace como 4.600 millones de años ya se había estructurado con su núcleo, un manto, una costra y una atmósfera venenosa. Los movimientos del hierro fundido en su núcleo externo generaron un campo magnético que lo protegió de buena parte del viento solar. Cualidad interesante, pero, entre erupciones volcánicas colosales e impactos de asteroides, la Tierra seguía siendo un lugar infernal. Un científico extraterrestre de paso por allí no habría apostado nada sobre su fertilidad.

En cambio, 90 millones de años después sucedió lo imponderable. El pequeño planeta Tea, demasiado cercano a la Tierra, perturbado por otros impactos en un casual gran juego de billar cósmico, entró en ruta de colisión y chocó de manera oblicua contra el planeta, creando devastación y arrancándole la atmósfera. Una parte de Tea se fundió dentro de nuestro planeta, otra parte se dispersó en el espacio y otra se convirtió en la Luna. La Tierra, ahora inclinada sobre su propio eje, adquirió así su propio satélite. Nacieron las estaciones y las mareas. En cien millones de años se formó una atmósfera, el agua quedó recogida en un océano primordial, dio inicio el complejo proceso de la tectónica de placas, el efecto invernadero comenzó a estabilizar el clima. La Tierra iniciaba su carrera de planeta vivo, dinámico, en evolución. A ese punto, las condiciones para poder hospedar organismos vivientes estaban ya quizá virtualmente en juego, pero era aún demasiado pronto: el sistema solar, para nada es-

table como parece, escondía dentro de sí otras brutales sorpresas.

Hace como 3.800 millones de años la resonancia gravitacional entre Júpiter y Saturno hizo que sus órbitas se hicieran más excéntricas, con el resultado de perturbar con fuerza la trayectoria de Neptuno, empujándolo hacia el exterior, más allá de Urano y en medio del cinturón de Kuiper. La convulsión jupiterina lanzó cometas helados y asteroides enloquecidos por todo el sistema solar, bombardeando los planetas interiores, Tierra y Luna incluidas. Se desencadenó un infierno de impactos catastróficos, que hicieron llegar sobre la superficie de nuestro planeta una inmensa cantidad de materiales externos, entre los que probablemente había mucha agua, carbono, aminoácidos y otras moléculas orgánicas.

En conclusión: no estaba escrito en ningún sitio que la Tierra fuera el planeta adecuado en el lugar adecuado, perfecto en cuanto tal. Es el sentido de la comprensión a posteriori lo que nos lleva al error de perspectiva de sentirnos dentro de un destino benévolo e inevitable. En realidad, la roca vagabunda que luego se convertirá en nuestra casa se ganó los galones de honor en el campo de batalla. Habitable lo fue después, como conclusión de un período geológicamente muy borrascoso, cuando los choques de las bolas de billar cósmicas en el sistema solar por fin cesaron. Esta pérdida de perfección y unicidad nos hace ganar en diversidad, lo cual hace que todo sea mucho más interesante.

Si nuestro universo nació de ese modo explosivo, sin nada de especial que lo hiciera único más que aquella fluctuación casual a base de inflatones, quién sabe cuán-

tas otras explosiones exponenciales de espacio-tiempo han iluminado el supercosmos, poblándolo de universos alternativos, algunos fértiles de vida y otros no, y algunos de ellos, quién sabe, al lado del nuestro pero no comunicantes. Tal vez tenemos compañía y no lo sabremos nunca. Lo único que parece gustarnos es lo único que conocemos. Imperfección y contingencia no implican una improbabilidad suma e irrepetible, o sea: el hecho de que el universo sea como es en virtud de una serie de rupturas de simetría y que la Tierra pueda hospedar vida gracias a una mezcla afortunada de condiciones favorables no significa en modo alguno que esa secuencia de puntos críticos haya sucedido excepcionalmente una sola vez, y que, por tanto, nuestra historia sea única o «especial».

Baste pensar en los miles de planetas extrasolares que estamos descubriendo, muchos de los cuales orbitan en la zona habitable, es decir, en esa franja adecuada en la que la luminosidad de su estrella y el radio orbital garantizan virtualmente la temperatura idónea para la vida. Se calcula que puede haber más de 10.000 millones de exoplanetas similares a la Tierra en la Vía Láctea. ¡Diez mil millones, y sólo en nuestro pequeño entorno cósmico! Diez mil millones de posibilidades, sólo en esta parte del universo, en la más negra de las noches. Es claro que no basta estar en la zona habitable, se necesita también agua en estado líquido y los compuestos orgánicos de partida, pero con miles y miles de millones de planetas calientes y húmedos en cuya superficie poder experimentar el proceso, es decir, con miles de millones de intentos a disposición, es irrazonable (además de presuntuoso) pensar



que la abiogénesis, el nacer de las formas de vida auto-replicantes a partir de la química de la materia inanimada, haya tenido éxito positivo sólo y exclusivamente en nuestra bolita de roca y metal perdida en la cintura de Orión.

Compartir esta eventual particularidad con otros sistemas planetarios no significa, sin embargo, que la historia haya ido en todas partes de la misma manera, ni que nuestra receta, a base de aminoácidos, nucleótidos, azúcares y grasas, fuese la mejor y más perfecta. Nuestro menú químico preveía principalmente carbono, azoto, oxígeno, hidrógeno, y una rociada de fósforo, hierro y azufre. En otros sitios, quién sabe... Las bacterias extraterrestres que quizá descubramos dentro de algunos años nos darán la respuesta. Las compararemos con nuestros microorganismos capaces de vivir en condiciones extremas, estudiaremos qué vías de supervivencia han encontrado y entenderemos cuán grande es la gama de la diversidad explorable. Mientras, ateniéndonos a lo que sabemos, podemos decir de ellos que en sus primeros pasos sobre la Tierra se cruzaron también con muchos puntos críticos. Muchas veces rozamos entonces el fracaso, pero nunca del todo.

Y aquí empieza, pues, la historia natural de la imperfección biológica, verdadero corazón de nuestro viaje.