

# Pensándolo bien...

Lecturas



## Volumen I

Alberto Requena

Ilustraciones :

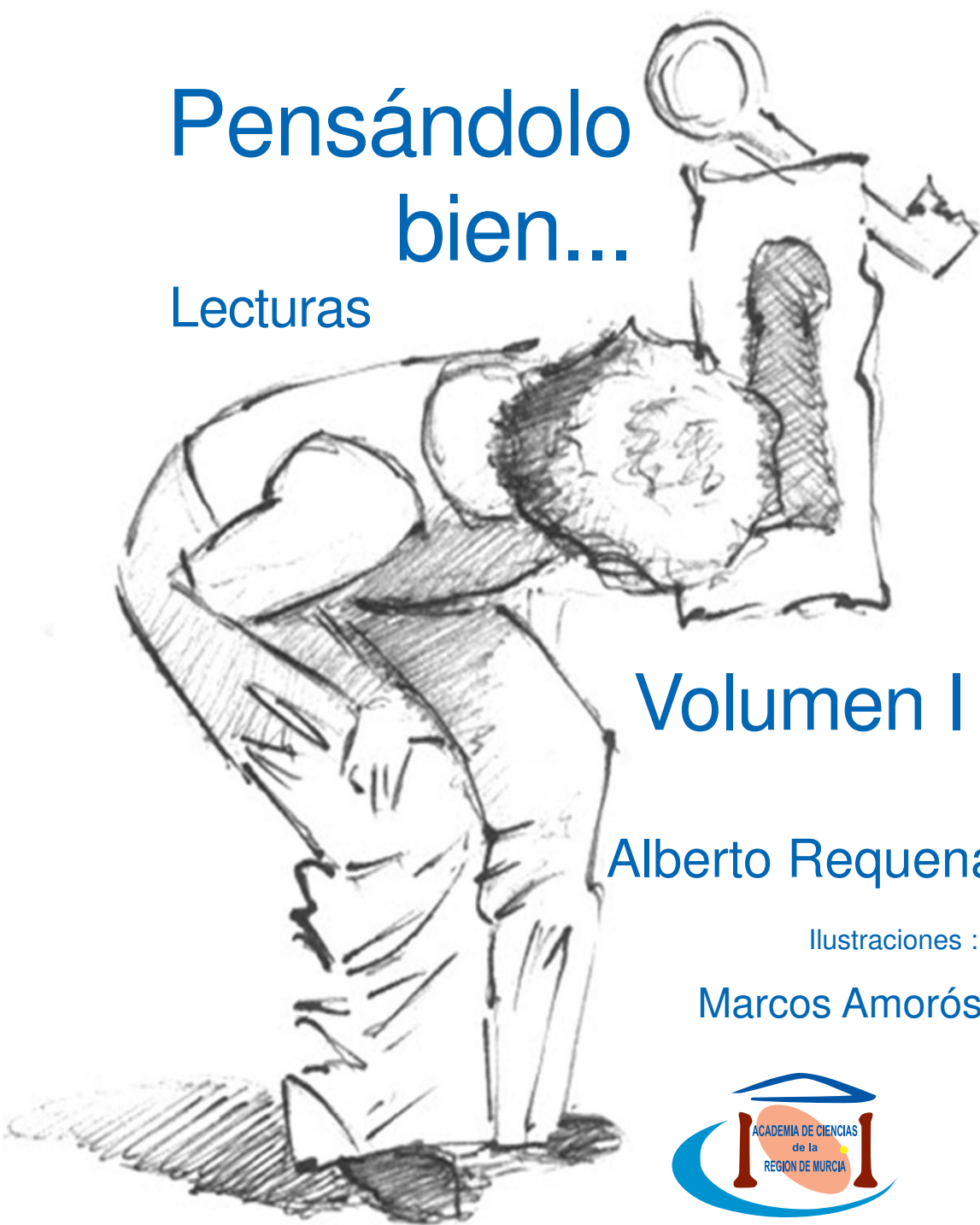
Marcos Amorós





# Pensándolo bien...

Lecturas



## Volumen I

Alberto Requena

Ilustraciones :

Marcos Amorós





# Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen I

Alberto Requena



Academia de Ciencias de la  
Región de Murcia.  
Vicepresidente



Ilustraciones :

Marcos Amorós



Datos de Catalogación Bibliográfica

Pensándolo bien... Vol. I

Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós

ISBN: 978-84-09-05109-0

Materia: Ciencia y Tecnología

Formato: 160 x 235 Páginas 248

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts 270 y sigs. Código Penal)

DERECHOS RESERVADOS

©2018 por Academia de Ciencias de la Región de Murcia.

Pensándolo bien... Vol. I

Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós

ISBN (volumen I): 978-84-09-05109-0

ISBN (obra completa): 978-84-09-05108-3

Depósito Legal: MU 1198-2018

Editor: Alberto Requena

Diseño de Cubierta: Alberto Requena

Impreso por: Compobell, S.L.

IMPRESO EN ESPAÑA- PRINTED IN SPAIN

---

Esta publicación está dedicada a la Academia de Ciencias de la Región de Murcia a la que he otorgado cariño, dedicación y tiempo. Su actual Presidente, que ejerce y gestiona con eficacia y acierto, un día me comprometió a escribir sobre Ciencia y yo acepté la sugerencia. Desde entonces todas las semanas que la Academia publica su blog, cuenta con mi aportación. Agradezco, enormemente, haberme comprometido. He leído, analizado, valorado y sopesado muchas cosas de la infinitud que conforman la Ciencia actual. Hoy, con más conocimiento de causa que ayer, afirmo sin dudar, lo que reconforta el conocimiento. La labor de la Academia, contribuye decididamente a transmitir una profunda y singular emoción a todos aquéllos que piensan que la Ciencia es importante para nuestras vidas.

—Alberto Requena

# Agradecimientos

---

A todos los que de alguna forma han participado en la factura de estos textos, colaborando, leyendo, sugiriendo o corrigiendo. Un agradecimiento especial a María Emilia Candela, siempre animosa y atenta a sugerir y aportar inteligentemente. De ella aprendo mucho. Destacar la labor incansable y audaz de Marcos Amorós, un artista de primer orden.

Nuestro agradecimiento expreso a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Consejería de Empleo, Universidades, Empresa y Medio Ambiente y a la Dirección General de Universidades e Investigación. Su apoyo es decisivo.





# Prólogo

La Academia de Ciencias de la Región de Murcia, que tengo el honor de presidir actualmente, tiene entre sus misiones la difusión y divulgación de la Ciencia. Una de las iniciativas que hemos adoptado en los últimos años, para cumplir esta misión, ha sido la elaboración cada semana de un boletín de noticias científicas que se difunden a las Universidades públicas de la Región de Murcia, así como al CEBAS-CSIC y a otros usuarios. Una parte fundamental de este boletín lo constituye la sección denominada Pensándolo bien..., de la que proviene este libro. Mi buen amigo Alberto Requena escribe esta sección sobre los temas más diversos de la ciencia y cada semana nos sorprende con un nuevo e interesante artículo que nos despierta el interés por un nuevo aspecto de la Ciencia, incluyendo la Historia de la Ciencia. La verdad es que la labor del profesor Requena es admirable por su tremenda capacidad de trabajo y su carácter prolífico para la escritura. Me impresiona, por ejemplo, que hay semanas que no escribe solamente el Pensándolo bien..., sino otros dos o tres artículos más, tanto La Columna de la Academia como otras columnas o artículos para la prensa murciana. Cuando llegué a la presidencia de la Academia, conociendo su capacidad de trabajo, pedí su colaboración al profesor Requena que ha venido respondiendo de la forma más generosa y brillante posible.

La Ciencia es cada vez más el motor del progreso de nuestra sociedad que viene permitiendo que la Humanidad tenga una progresión que quema etapas a una velocidad vertiginosa, lo que aumenta nuestro nivel de vida incluyendo una mejor salud, un aumento de nuestra esperanza de vida y también disfrutar de comodidades inimaginables no hace tantos años. El lector encontrará en estas páginas los latidos de la Ciencia, cada vez más decisiva para nosotros y el entusiasmo de un gran científico que emerge de ellas ofreciéndonos de forma sumamente amena los fundamentos del progreso científico.

La Academia de Ciencias de la Región de Murcia se complace y enorgullece de presentar al público este libro, esperando que sirva de acicate ilusionante para muchos jóvenes que puede servir para impulsarles a dedicarse a la investigación y, en general, que sirva de lectura placentera para todos.

*Juan Carmelo Gómez Fernández  
Catedrático de la Universidad de Murcia  
Presidente de la Academia de Ciencias de la Región de Murcia*

*Otoño de 2018*



# Prefacio

Este libro pretende recoger y dejar constancia de una serie de reflexiones sobre temas diversos, pertenecientes a distintos campos científicos. Por una razón u otra han sido cuestiones de interés en algún momento, presente o pasado. Representan aportaciones singulares que alguno de los miembros de la Humanidad ha sido capaz de desvelar y poner al descubierto. Los demás hemos aprendido de sus relatos.

La curiosidad es una virtud insaciable. Debemos ser humildes y reconocer que no sabemos por qué mantenemos la curiosidad en cualquier tiempo y lugar. El descubrir tiene una cara oculta que se desvela cuando corremos la cortina que cubre el transfondo y, en realidad, lo que descubrimos son muchos más interrogantes que los que teníamos cuando abordamos una cuestión y creemos haberla resuelto. Pero seguimos insistiendo. No nos conformamos. Esa especie de impulso bíblico que animaba a aquél niño a querer meter toda el agua del mar en aquel hoyo que había practicado en la arena, tiene mucho que ver con el impulso permanente que nos anima a conocer más y más. No hay final, parece, pero insistimos sin perder el aliento.

Imaginen si nos enfrascamos en un proyecto, consistente en poner negro sobre blanco, cuestiones científicas que, por alguna razón, te apasionan, te interesan o quieres desvelar las entrañas que lo explican. Podría ser labor de toda una vida. En todo caso, es una bendición poderse dedicar a esos menesteres en un momento dado, dedicando tiempo, esfuerzo y atención a temas que te han ido quedando pendientes y te gustaría razonar, conocer y, en casos, desvelar.

La Ciencia avanza y el conocimiento acumulado se incrementa a pasos agigantados. Dentro de poco habrá que revisar los fundamentos. No es posible abarcarlo todo y no va resultando nada trivial discernir qué es lo imprescindible para seguir avanzando. La Sociedad precisa elevar el nivel de conocimiento utilizable y es una buena razón para que los científicos comprendan que también tienen como obligación transferir ese conocimiento al que han accedido privilegiadamente. Es una gran tarea la que queda por delante. Entre todos, podemos lograrlo

*Alberto Requena  
Catedrático Emérito de la Universidad de Murcia  
Vicepresidente de la Academia de Ciencias de la Región de Murcia*

*Otoño de 2018*

# Contenido breve

## VOLUMEN I

- Trazado 1 Desde el principio, 1
- Trazado 2 El avance científico, 109

## OTROS VOLÚMENES

### VOLUMEN II

- Trazado 3 Ciencia útil, 1
- Trazado 4 La armonía en la Naturaleza, 117

### VOLUMEN III

- Trazado 5 Nuevos paradigmas, 1
- Trazado 6 Un proceso llamado mundo, 115

---

# Contenido

---

## TRAZADO 1

### Desde el principio, 1

- Trazo 1.1 A los 380.000 años, 3.
- Trazo 1.2 ADN diseñador, 7.
- Trazo 1.3 Agnosticismo científico, 11.
- Trazo 1.4 Alfabeto de pensamientos, 15.
- Trazo 1.5 Analogía, 21.
- Trazo 1.6 Antes que la vida, 25.
- Trazo 1.7 Anyones y Qupartículas, 29.
- Trazo 1.8 Argentado mate, 41.
- Trazo 1.9 Atrapando, 47.
- Trazo 1.10 Bases quimicofísicas de la razón de oro, 51.
- Trazo 1.11 Brillante sistema Braille, 57.
- Trazo 1.12 Capturando la imagen, 63.
- Trazo 1.13 Cerebros incipientes, 67.
- Trazo 1.14 Ciencia en un sandwich de queso, 71.
- Trazo 1.15 Ciencia poética, 77.
- Trazo 1.16 Ciencia y Tecnología en el XIX, 85.
- Trazo 1.17 Coherencia fotosintética, 89.
- Trazo 1.18 Cómo es que son tan pequeños los átomos, 95.
- Trazo 1.19 Comprendiendo la gravedad, 99.
- Trazo 1.20 Conocimiento sin verdad, 103.

---

TRAZADO 2

## El avance científico, 109

- Trazo 2.1 Conquistando los cielos, 111.
- Trazo 2.2 Conservación, cambio y simetría, 117.
- Trazo 2.3 Cumpleaños cósmico, 119.
- Trazo 2.4 De aire, fuego y tierra, 127.
- Trazo 2.5 De lo mejor que puede ocurrir en Ciencia, 131.
- Trazo 2.6 Dedicándose a pensar, 135.
- Trazo 2.7 Del movimiento en zig-zag al número de Avogadro, 139.
- Trazo 2.8 Desequilibrio bioelectrónico, 145.
- Trazo 2.9 Desplazamientos, 149.
- Trazo 2.10 Disidencia científica, 155.
- Trazo 2.11 Dogmatismo científico, 163.
- Trazo 2.12 Einstein y la belleza de las ecuaciones, 167.
- Trazo 2.13 El camaleón cósmico, 175.
- Trazo 2.14 El clima que tendremos, 185.
- Trazo 2.15 El fin del Universo, 195.
- Trazo 2.16 El origen del tiempo, 201.
- Trazo 2.17 El primer sonido del Universo, 205.
- Trazo 2.18 El problema inverso, 109.
- Trazo 2.19 El subsuelo de la vida, 215.
- Trazo 2.20 Electrones lentos, 227.







## TRAZADO 1

### DESDE EL PRINCIPIO

1. Introducción. -1-
- 1.1. A los 380.000 años. -3-
- 1.2. ADN nanodiseñador. -7-
- 1.3. Agnosticismo científico. -11 -
- 1.4. Alfabeto de pensamientos. -15-
- 1.5. Analogía. -21-
- 1.6. Antes que la vida. -25-
- 1.7. Anyones y qupartículas. -29-
- 1.8. Argentado mate. -41-
- 1.9. Atrapando. -47-
- 1.10. Bases quimicofísicas de la razón de oro. -51-
- 1.11. Brillante sistema Braille. -57-
- 1.12. Capturando la imagen. -63-
- 1.13. Cerebros incipientes. -67-
- 1.14. Ciencia en un sandwich de queso. -71-
- 1.15. Ciencia poética. -77-
- 1.16. Ciencia y Tecnología en el siglo XIX. -85-
- 1.17. Coherencia fotosintética. -89-
- 1.18. Cómo es que son tan pequeños los átomos. -95-
- 1.19. Comprendiendo la gravedad. -99-
- 1.20. Conocimiento sin verdad. -103-

## TRAZADO 1

### Desde el principio

Uno de los interrogantes permanentes en la Humanidad, se formula en torno a cómo ocurren las cosas. Nuestro origen y nuestro destino forman parte de la curiosidad por descubrir, que forma parte de nuestra intimidad. La pregunta tiene una edad similar a la de la Humanidad. Soslayamos el interrogante por qué, dado que la causalidad no es objeto de nuestra atención, ahora. Nos conformamos con poder contestar al discurrir de los procesos y los componentes que lo hacen posible.

Los orígenes de todo cuanto nos rodea u observamos, constituye el objeto de nuestra atención racional, que pretende encontrar una explicación razonable de cuanto nos rodea.

Sabemos que el conocimiento lejos de satisfacer la curiosidad, va descubriendo “cortinas” que abren nuevos interrogantes. Y viene ocurriendo así

*Los trazados son conjuntos de trazos, perfiles, bocetos, reunidos desde la variedad.*

*Los trazos son aspectos, temas, cuestiones, rasgos, que pueden ser de interés.*

*Puedes realizar una lectura rápida o una más pausada. Tú eliges.*

*Una colección de temas variados te esperan.*

*¡Disfruta!  
Deleitate pensándolos.*

desde que se reconoce el homo sapiens como ser racional. Siempre ha sido así. La cuestión es que no sabemos como es posible que nunca saciemos nuestro afán de conocimiento. Hay que aceptar que no tenemos ni idea de por qué esto es así. Debemos, desde la humildad que todo humano debe tener, reconocer que no sabemos por qué es así, pero así es. ¡Siempre quedará algo por explicar!

Todo cuanto nos rodea nos seduce, a poco que lo observemos con cierto interés. ¡Qué poco cuesta interesarse! La cadena causal que enlaza todo lo conocido y por conocer sirve de atractor. Estamos rodeados de atractores que pugnan por interesarnos. Cuanto más conocemos, más interés tenemos en más cosas. Facetas, sutilezas, aspectos, suscitan interés por desentrañar procesos, causas, leyes.

Los humanos nos vemos impelidos irremediablemente al descubrimiento. Los sentidos nos ayudan decididamente a ello. La razón nos reconforta cuando lo explicamos. No hay explicación de por qué. Simplemente, es así.

Aquí recogemos un conjunto de aspectos que pueden ser de interés. Entra en ellos como gustes. Con lectura rápida o reposada. Tú decides, según te parezca. Si te suscitan nuevos interrogantes, estará cubierto nuestro propósito. Espero que así sea.

## TRAZO 1.1

## A los 380.000 años

Una vez que, gracias a Hubble, se conoció que el Universo se expandía, dado que aumentaba el espacio entre las galaxias se inducía que en el pasado tuvo que ser aquél más pequeño. Así pues, la energía que es constante, estuvo confinada en un volumen menor. Es decir, la densidad de energía tuvo que ser mayor que en la actualidad. A la densidad de energía se le asocia la temperatura, la expansión y la consiguiente disminución de la densidad de energía supone que el Universo se está enfriando. Por ende, en el pasado, con un Universo más pequeño y una mayor densidad de energía, la temperatura fue mayor que en la actualidad. Esto nos lleva a concluir que actualmente la materia tiene las propiedades que tiene, porque la energía disponible es muy pequeña y su configuración es más estable. Cuando a la materia se le suministra más energía, como ocurre en el acelerador de hadrones (LHC) de Ginebra, la materia acede a otros estados y podemos disponer de partículas que no son usuales en nuestro mundo actual.

*El Universo se expandía.*

*En el pasado la temperatura fue mayor que en la actualidad.*

Básicamente, en el LHC se pueden crear regiones con densidades de energía a las que corresponden temperaturas muy elevadas, propias de cuando el Universo se remonta a milmillonésima de segundo tras el Big Bang que predice la teoría estándar de la Cosmología. Sabemos cómo evolu-

*En el LHC se pueden crear temperaturas muy elevadas.*

La evolución del Universo accedió a varias fases.

*Se separó la gravedad del resto de fuerzas.*

*Se redujo la temperatura.*

*Actuó el campo de Higg.*

*Los quarks se confinan en protones y neutrones.*

cionó el Universo tras su origen, pero ignoramos como se originó. La evolución responde a varias fases: a) Unos  $10^{(-40)}$  segundos tras el origen, la temperatura era extraordinariamente elevada,  $10^{(32)}$  K (grados Kelvin, cuyo 0 es el cero absoluto, mínima temperatura posible). Hasta ese instante las fuerzas que ahora se observan, gravedad, electromagnetismo, interacción débil e interacción fuerte, constituían una sola entidad y es en ese instante que se separa la gravedad y del resto de las fuerzas da cuenta la Teoría de la gran Unificación. Aquí no se ha accedido, todavía, con experimentos. b) Cuando transcurrieron  $10^{(-36)}$  segundos, la temperatura se redujo a  $10^{(27)}$  K y se rompió la interacción entre las tres fuerzas de la teoría de la gran unificación, por un lado la interacción fuerte, apareciendo los quarks y los gluones y la interacción electrodébil, que supone una unificación entre la interacción electromagnética y la interacción débil. No tenían masa las partículas de la interacción débil. c) Transcurridos  $10^{(-12)}$  segundos la energía cayó a un valor en el que el campo de Higgs actuó dando masa a algunos bosones y se separaron el electromagnetismo y la interacción débil. Se tuvieron desde este instante las cuatro interacciones que ahora se identifican. d) A partir de  $10^{(-12)}$  segundos, la energía disponible ya no era suficiente para mantener los quarks libres y se confinaron en protones y neutrones. Antes habían formado una especie de sopa que era el plasma quark-gluón. Hasta aquí se está llegando experimentalmente

en los aceleradores de partículas. e) Un segundo después del origen del Universo las interacciones entre materia y neutrinos eran muy frecuentes. A partir de ese instante la energía de los neutrinos ya no era suficiente para que interactuaran con otras partículas y se propagaron en todas direcciones. f) A los 100 segundos del origen la temperatura bajó hasta  $10^{11}$  K y los protones y neutrones, ya menos energéticos formaron los núcleos atómicos ligeros, mediante la interacción fuerte. Se formaron el hidrógeno, el deuterio, el helio y pequeñas cantidades de litio y berilio. La materia estaba formada por núcleos ligeros, de carga positiva y los electrones formaban una sopa de partículas cargadas, desplazándose libremente y colisionando. Coexistían los fotones, que colisionaban con las partículas cargadas. La luz no se propagaba en línea recta, sino que cambiaba constantemente de dirección y de energía, como consecuencia de las frecuentes colisiones. Y así continuó siendo durante muchos años.

*Un segundo después, materia y neutrinos interaccionan.*

*A los 100 segundos protones y neutrones forman los núcleos.*

*Coexistieron las partículas cargadas con los fotones.*

*La luz cambiaba de dirección constantemente.*

Finalmente, tras todo ello, llegó el momento clave, una vez transcurridos 380000 años tras el origen. La temperatura cayó hasta los 3000 K. A esta temperatura los electrones y los núcleos ya no se pudieron mover libremente y formaron los átomos. Los fotones recobraron la libertad de movimiento y el Universo se hizo transparente a la luz. Se formaron las galaxias y las estrellas y apareció el Universo observable. ¡Fantástica Historia! La más real que tene-

*Cuando transcurrieron 380.000 años la temperatura cayó hasta 3000 °C.*

*Se formaron los átomos.*

*Nació la  
Química.*

*Poco a poco  
vamos descu-  
briendo la res-  
puesta al mayor  
interrogante de  
la Humanidad:  
¿de donde veni-  
mos?»*

mos. Nació la Química. Hay que reconocer la fascinación que produce el ir conociendo poco a poco los grandes hitos de la cosmología. Cada vez con mayor aproximación nos vamos acercando a desentrañar los misterios que encierra el Universo que habitamos y que de forma sorprendente hemos tenido la oportunidad de vivir y contemplar. Los vestigios que han quedado impresos en el cosmos van ofreciendo información que nos permite ir descubriendo poco a poco nuestro origen y que, en suma contribuyen a ir respondiendo a la mayor incognita de la Humanidad ¿de donde venimos?



|| ARCO || Illovi

## ADN nanodiseñador

La investigación científica va llevando de unos ámbitos a otros, en una especie de espiral sin fin que va enlazando opciones, abriendo puertas a la imaginación y encadenando sucesos, de forma que el avance científico va generando la innovación sin descanso, aprovechando todas las ideas que se han materializado en proyectos que han finalizado con éxito y las que surgen a raíz de lo que sugieren las ideas anteriores. El fin es la mejora y el progreso. No hay límites. Cualquier logro es un escalón para el siguiente. Si importante es alcanzar algún objetivo, todavía lo es más los que a continuación esperan cuando el anterior posibilite la resolución de aspectos o problemas planteados en otros ámbitos. Así viene sucediendo y no parece que esta ley inexorable pueda verse alterada.

*El avance científico es capaz de promover la innovación.*

*No hay límites, para la mejora y el progreso.*

Cuando todavía no se perciben las ventajas generalizadas del empleo de la nanotecnología, ya surgen campos y áreas donde lo logrado hasta ahora se ve potenciado por realizaciones alcanzadas, incluso en otros campos. Los nanotubos resultan ser más fuertes que el acero, al tiempo que tan flexibles como el plástico, conducen la energía y pueden confeccionarse con relativa facilidad.

*Importancia de la nanotecnología.*

Desde hace algunos años, algunos científicos, como los de IBM investigan sobre



*El ADN puede servir para construir matices de nanotubos, por ejemplo*

*El ADN como constructor en la industria de semiconductores.*

*El objetivo es fabricar circuitos de ADN para ensamblar otros componentes*

*Se pueden construir chips*

nanotubos de carbono, que son hebras de átomos de carbono que conducen la electricidad, para intentar construir matrices con moléculas de ADN. Una vez que la matriz de nanotubo se construye, las moléculas de ADN que se han generado en el laboratorio específicamente para esto, se separaran dejando una red de nanotubos. Este nanotubo podría funcionar como dispositivo de almacenamiento de datos y contribuir a mejorar la calidad de los cálculos que se llevan a cabo en un ordenador. Se trata, pues, de que el ADN actúe como constructor en la industria de semiconductores.

Se pretende que las nanoestructuras de ADN se autoensamblen en una forma discreta. El objetivo es usar esas estructuras como base para ensamblar los nanotubos de carbono, los nanohilos de silicio y puntos cuánticos. En suma, lo que se pretende es fabricar finos circuitos de ADN que se usan para ensamblar otros componentes. En el California Institute of Thechnology se llevan a cabo estos estudios en los que el ADN actúa de nanodiseñador. Se crean chips muy pequeños. Dado el carácter molecular del ADN, es capaz de reconocer elementos del tamaño de nanometro, muy por debajo de los logros mecánicos que alcanzan al limite sólo unas decenas de nanometro.

Como es bien conocido el ADN consta de bases químicas específicas (guanina, citosina, ...) que se unen y reaccionan de



forma predecible. Se trata de aprovechar esta capacidad. Así, si se construye una especie de andamio con el ADN diseñador, se podrían construir estructuras con diversas formas: círculos, estrellas y cualquier otra forma posible, como ya ha hecho Rothemund. Se puede grabar en una superficie fotorresistente con litografía de haces de electrones. Una disolución del ADN diseñador se puede verter sobre la superficie grabada y el ADN se distribuirá de acuerdo con el patrón grabado, sobre el sustrato y entonces las fuerzas fisicoquímicas que operan entre las moléculas, es decir las interacciones entre el ADN y los nanotubos, se mantendrán hasta que se formen las formas deseadas: cadenas simples de ADN, siguiendo patrones como si fueran de papiroflexia. Una clave del sistema la constituyen los péptidos que pueden enlazarse al ADN, de forma que dispongamos de una molécula inspirada no biológicamente como un nanotubo. No es nada trivial la construcción de los andamios de ADN, porque es preciso que un sistema biológico reconozca algo que no existe en la biología. Se pueden emplear los andamios biomecánicos para sintetizar nanomateriales inorgánicos. Potencialmente, se pueden emplear sistemas biomecánicos para sintetizar materiales inorgánicos. Ya se han publicado artículos sobre como el ADN puede reboninarse en torno a nanotubos y dispersarlos en agua o como el ADN puede disponer nanotubos, así como matrices de nanotubos alineados.

*El ADN es capaz de reconocer elementos nanométricos.*

*Un andamio con el ADN diseñador.*

*AL ADN diseñador se puede verter sobre una superficie grabada y se distribuye según el patrón del grabado.*

*Se pueden sintetizar nanomateriales inorgánicos.*

*La escala que permite acceder el ADN está por debajo de los 10 nanómetros.*

Representa una interesante alternativa para contribuir a tranquilizar el irremediable destino que marca la ley de Moore, que marca la disminución de tamaño de los chips, cada dos años. Con el ADN se pueden construir chips por debajo de los 10 nanómetros.



*A. Requena*

## Agnosticismo científico

El cerebro humano es una factoría compleja donde se gestan los pensamientos y emociones humanas a partir de interacciones físicas y de fenómenos todavía no comprendidos, pero que el devenir de los tiempos nos anuncia que llegaremos a conocer. No obstante, la magnificencia de una noche estrellada, por ejemplo, no lo es menos porque no seamos capaces de identificar, comprender y describir todos los elementos del bellísimo escenario. Seguramente, la perplejidad que nos provoca la contemplación del Cosmos, es un naturalismo poético, derivando en una asombrosa admiración por la estructura del mundo que, poco a poco, la Ciencia va desvelando. Como dijera Einstein, "no poder comprender, no significa no poder comprender para siempre". Si nos planteamos el interrogante de si hay vida en alguna otra parte del Universo, es difícil comprometerse con cualquier respuesta. Podemos formular argumentos sobre la vida extraterrestre, pero estamos huérfanos de evidencias y tenemos que aceptar una respuesta formulada en términos de probabilidades.

*La Ciencia, poco a poco va desvelando el Cosmos.*

*Es difícil comprometerse con cualquier respuesta al interrogante de si hay vida en alguna otra parte del Universo.*

Pero el agnosticismo no tan solo se extiende sobre cuestiones a dilucidar en el futuro. También el pasado lo reclama, como ocurre cuando pretendemos hablar sobre la última extinción de los dinosaurios. Se da el

*Es muy razonable que el agnosticismo sea lo que sustente nuestro talento.*

*Tipos de agnosticismo según Dawkins.*

*Alguna cosa, siempre estará fuera de la Ciencia.*

impacto de un meteorito como principal razón, pero pudo ser cualquier otra circunstancia o combinación de ellas. Es muy razonable que sea el agnosticismo la posición que sustente nuestro talento. No obstante deberíamos caracterizar dos grandes tipos de agnosticismo, como propone Dawkins: el temporal en la práctica (ATP) y el permanente por principio (APP). En el primer caso (ATP) se trata de que existe una certeza, que esperamos conocerla algún día, aunque por el momento no la conocemos, es decir, hoy estamos lejos de una evidencia. En el caso APP, se trata de interrogantes que nunca podrán tener respuesta, por más evidencias que busquemos, porque el propio concepto de evidencia no lo vamos a aplicar. La extinción de los dinosaurios es un ejemplo del primer caso (ATP), mientras que en el segundo caso (APP) el dicho "contra gustos no hay nada escrito" lo enmarca apropiadamente, o lo que es lo mismo, "tal como yo lo veo no lo ves tú". El agnosticismo está formulado en el marco ATP: hoy atribuimos una probabilidad de ocurrencia o de explicación, y podemos decir cosas realmente contundentes, pero eso sí, solamente son probables.

Eso no significa, en modo alguno, que se pueda aceptar que alguna cosa estará siempre fuera de la Ciencia, como aventuró en 1835 el filósofo francés Comte, uno de los impulsores del positivismo del siglo XIX, cuando se refirió a las estrellas, afirmando: "nunca seremos capaces de estudiar mediante método alguno, su composición

química o su estructura mineralógica". El devenir histórico le asestó un duro golpe, por cuanto, casi coetáneamente, Fraunhofer que había empezado a analizar las líneas detectadas que permitieron identificar la composición química del Sol, a través de las líneas de absorción en el espectro obtenido en el recién inventado espectroscopio, explicadas de modo exhaustivo por Kirchhoff y Bunsen en 1859. Se llaman líneas Fraunhofer en honor suyo. Fue el primero que se percató de que los espectros de Sirio y otras estrellas diferían entre si y del Sol, dando origen a la denominada espectroscopía estelar.

*Las líneas detectadas permitieron identificar la composición química del Sol.*

Resulta muy razonable, pues, la propuesta de Huxley sobre que el agnosticismo no declara ninguna veracidad eterna. Viene a ser un método que sigue a la razón, sin atenerse a otra consideración. Las conclusiones que no se han demostrado o no son demostrables, no se pueden dar por ciertas. Parece claro que debemos encajar el matiz probabilístico, dado que no probar algo no implica, en modo alguno, que probado y refutación estén en equilibrio y en una región estable. Las evidencias o razonamientos pueden estar respaldados por una probabilidad estimada. La naturaleza probabilística resulta ser connatural con la estructura del Universo. Todo hecho científico sobre el Universo, y la existencia o inexistencia de todo es un hecho científico del Universo, resulta descubrible y una hipótesis científica pertenece razonablemente, al agnosticismo temporal.

*El agnosticismo no declara ninguna verdad eterna.*

*La naturaleza probabilística es connatural con la estructura más íntima del Universo.*



## Alfabeto de pensamientos

La limitación del conocimiento, atribuida a Gödel, es un reto temerario a la completitud de las Matemáticas. El modesto Gödel comenzó a incubar sus ideas, cuando el pensamiento científico y filosófico estaba dominado por el positivismo, la sobredimensionada e intelectualmente agresiva creencia de que todo podría ser explicado a través de observaciones empíricas y lógicas, dado que el Universo y todo lo que contenía, eran esencialmente mecanicistas. En el ámbito de las Matemáticas, esta visión fue especialmente propiciada por David Hilbert, por cuanto propuso una filosofía, denominada formalismo, que pretendía describir toda la Matemática, mediante una serie de reglas formales, axiomas para los matemáticos, que fueran lógicos y consistentes y, finalmente, un sistema completo. No fue el único matemático que soportaba esta posición. En el siglo XVII Leibniz, uno de los promotores del Cálculo, emprendió un proyecto consistente en construir un "alfabeto básico del pensamiento humano" que permitiría mediante la combinación de pensamientos simples formar cualquier idea, como si se tratase de que un número limitado de palabras se pudieran combinar fácilmente, para formar cualquier frase, independientemente de que anteriormente nunca se hubiera formulado ni pronunciado. Esto permitía valorar si un pensamiento sería válido, cierto o

*Gödel y la limitación al conocimiento.*

*El formalismo de Hilbert.*

*Leibniz y el alfabeto básico del pensamiento humano.*

*Se creía valorar si un pensamiento era válido, cierto o interesante.*

interesante, de la misma forma que se podrían construir nuevos e inéditos pensamientos, de forma automática. Cualquier disputa o debate podría ser resuelto calculando, por cuanto, se suponía, la deriva lógica estaba al alcance de la mecanización.

*La verdad se podía deducir a partir de un número de sentencias previas.*

Fue, precisamente, la obsesión en todo esto, lo que llevó a Leibniz a desarrollar la matemática conocida hoy como combinatoria. En el fondo, subyacía que la "verdad" se podía deducir (se suponía) a partir de un número de sentencias previas (primitivas o primarias) mediante operaciones matemáticas. También todo esto supuso el comienzo de la moderna lógica y la contribución de Leibniz, ha sido considerada por muchos como la mayor aportación a la lógica desde Aristóteles. Puede pensarse que resultaba "naif" creer que cualquier pensamiento se podría derivar mediante un dispositivo de cálculo, como el propio Leibniz valoró, pero el "alfabeto del pensamiento" y sus implicaciones le obsesionó el resto de su vida.

*La aportación de Leibniz se considera como la más importante después de Aristóteles.*

El interés tanto para Leibniz, como para nosotros, no es que esta estructura y este dispositivo imaginario fuera capaz de construir los pensamientos humanos, sino que se pudieran identificar y evaluar pensamientos desconocidos. De esta manera se daba pie para poder sondear lo que sabemos, así también como lo que no conocemos. Este atributo es el que nos seduce, que pudiera contener más de lo que sabe-

*Sondear lo que sabemos y lo que no conocemos.*



mos nosotros. La potencia del "alfabeto de pensamientos" de Leibniz y el "Algebra de pensamientos" que trabajaría, permitirían mostrar el infinito del pensamiento humano y, por ende, la inmensidad de lo desconocido. Pero, el lenguaje es útil para lo que nos permite decir y es poderoso porque admite, por su estructura, que hay una infinidad de cosas que se podrían decir y que siempre queda más por decir que lo que decimos o está dicho. El alfabeto de Leibniz nunca se usó y la forma que él imaginó es menos importante que la demostración de qué cosas simples son las que se pueden combinar para componer nuevas cosas.

Las ideas centrales de Leibniz están inspiradas en el Ars Magna de Raimundo Lull y en el Computatio sive Logica de Hobbes. En el caso de Lull, la pretensión era disponer de un instrumento para convencer a los infieles de la verdad de los dogmas de la religión cristiana, pero también era un medio de generar conocimiento, Utilizó una tabla de categorías formadas por seis series, cada una de las cuales correspondía a nueve absolutos, nueve relaciones, nueve preguntas, nueve sujetos, nueve virtudes y nueve vicios. Leibniz se percató de las limitaciones, porque la tabla de categorías le parecía arbitraria y artificial, sin razones para adoptar nueve categorías por cada serie, ni mantener que los vicios y las virtudes eran ideas universales y se consideraban primitivas. Hobbes concibió el razonamiento como un cálculo, que pensaba que era lo único que realizaba nuestra

*Alfabeto y Álgebra de pensamientos permitirían mostrar el infinito del pensamiento humano.*

*La inmensidad de lo desconocido.*

*Qué cosas simples se pueden combinar para componer nuevas cosas.*

*Ars Magna de Raimundo Lull.*

*Leibniz se percató de las limitaciones.*

*Hobbes concibió el razonamiento como un cálculo.*

*Una lengua Universal para Leibniz.*

*Leibniz tenía esperanza de crear un lenguaje para el cálculo lógico.*

*Primer teorema de incompletitud de Gödel.*

*Conmoción en las Matemáticas.*

mente, como reconoce Leibniz en su obra De arte combinatoria. Leibniz sostenía que una lengua universal sería una lengua filosófica si fuera capaz de expresar directamente los pensamientos. Y es por eso que, en el Dissertatio del Ars Combinatoria afirmaba que se podría lograr construyendo un "alfabeto de pensamientos humanos". Como representante del racionalismo sostuvo que el criterio de veracidad del conocimiento es la necesidad intrínseca de éste y no su adecuación con la realidad. Tenía la esperanza de crear un lenguaje que pudiera emplearse en el cálculo lógico universal. Por cierto, fue el promotor del sistema binario, fundamento de todas las arquitecturas de computadoras actuales.

El primer teorema de incompletitud de Gödel demuestra que en cualquier sistema formal de aritmética hay proposiciones verdaderas que no pueden demostrarse, que tanto la sentencia como su negación son indecidibles. Esto conmocionó más allá del mundo de las matemáticas, en especial el corolario o segundo principio de incompletitud, que habla de que la consistencia de los axiomas no se puede demostrar en el interior del sistema.. Esto lleva a que no se puede demostrar la corrección de los razonamientos matemáticos basados en objetos infinitos, solo con razonamientos basados en objetos finitos. Esto implica que no toda la Matemática es computable y que la metamatemática del ser humano superará siempre a la capacidad de las máquinas. La comunidad científica recibió con frialdad la

propuesta de Gödel. Se dice que la reacción de Wittgenstein fue similar a la que en su día dio Voltaire a los descubrimientos de Leibniz, en relación con el error en las interpretaciones de su teorema en su época. Gödel estudió concienzudamente las obras de Leibniz, al que siempre admiró. Siempre sospechó que la mayoría de las aportaciones de Leibniz se han soslayado. Opinaba que de haberse examinado las propuestas de Leibniz, la Humanidad sería hoy mucho más racional e inteligente y cometería menos errores.

*La comunidad científica recibió con frialdad la propuesta de Gödel.*

*Gödel admiró a Leibniz.*



## Analogía

Se dice que dos figuras con la misma forma, aunque tamaño diferente, son semejantes. Un coche y una reproducción a escala son semejantes. No cambia la forma, solo el tamaño. Estrictamente hablando, se trata de que la distancia entre cualesquiera dos puntos de una figura u objeto y otros dos equivalentes de la figura u objeto semejante, mantienen una relación constante, precisamente llamada razón de semejanza. Una semejanza puede ser una combinación de traslaciones, rotaciones, reflexiones y homotecias. Durante mucho tiempo, se creyó que incrementar el tamaño de una figura sin alterar su forma, era una consecuencia de los axiomas de la geometría, aunque todos los intentos que se llevaron a cabo en Grecia para demostrarlo, fracasaron. Pero con la aparición de las geometrías no euclídeas, los matemáticos del siglo XIX, como Riemann y Lobachesvski, desvelaron que la semejanza solamente se daba en espacios sin curvatura, es decir los euclídeos. En una esfera, se puede definir una geometría, en la que, por ejemplo, los segmentos son las líneas más cortas que unen los extremos y las rectas son las geodésicas, que equivalen a los ecuadores en una esfera. Aquí un aumento de tamaño conlleva un cambio de la forma. La semejanza de triángulos permite conocer si estamos en un espacio euclídeo o no.

*Semejanza.*

*Riemann y  
Lobachesvki.*

*Geodésicas.*

Analogía proviene del griego: *ana*, que significa reiteración o comparación y *logos*, que significa estudio, con lo cual viene a significar comparación o relación entre varias cosas o conceptos, de forma que la identificación de

### *Analogía e inducción.*

una propiedad en uno de ellos justifica la existencia de dicha propiedad en otro u otros. La analogía permite argumentar por un camino inductivo. Un pensamiento o experiencia respecto a un objeto lo podemos representar mediante una comparación al compartir similitudes dos objetos. Básicamente, es un fenómeno lingüístico. Hay muchos tipos de analogías: sinónimos, antónimos, elemento, conjunto, género, especie, causa-efecto, acción, etc. Lágrima es a tristeza, como sonrisa es a felicidad; Calor es a fuego, como frío es a hielo; teclado es a ordenador como tecla es a piano; alimento es a humano como combustible es a vehículo; luz es a oscuridad, como día es a noche, son algunos ejemplos de analogía lingüística.

### *Tipos de analogías.*

### *Metáfora.*

Durante mucho tiempo la analogía más expresiva del átomo era la de un sistema solar microscópico. Del mismo modo que los planetas giran en torno al Sol, los electrones giraban en los modelos atómicos primitivos, alrededor del núcleo. Cuando llegó la Cuántica, el modelo planetario del átomo, que nunca tuvo sentido, porque físicamente no era estable, se concibió con otra explicación conceptual. Pero durante mucho tiempo la metáfora, que no es sino una realidad o concepto que se expresa mediante otra realidad o concepto diferente, pero que con el representado guarda una relación de semejanza, se mantuvo como explicación. Sistema solar microscópico fue una metáfora del átomo primitivo, como que el ocaso de la vida es una metáfora de la vejez. La metáfora traslada propiedades o características de un objeto o concepto a otro, por la semejanza subyacente.

Stephon Alexander, plantea en un espléndido libro, *El Jazz de la Física*, que la música es la analogía de buena parte de la Física y la cosmología, y permite desvelar alguna de las cuestiones clave. Piensa que la interacción entre las leyes físicas fundamentales que intervienen en la explicación de la creación de la estructura global del Universo, incluyendo nuestra propia existencia, vienen a ser tan mágicas como las que sustentan la teoría musical que ha sido capaz de crear desde las canciones más populares e infantiles, como Estrellita donde estás

*La metáfora traslada propiedades de un objeto a otro..*

*La música, analogía de buena parte de la Física.*

<https://www.youtube.com/watch?v=ekiMQCcGrOI>),

hasta la intrincada composición musical titulada "Interstellar Space" (por ejemplo, Marte está descrito en

<https://www.youtube.com/watch?v=7MRoSrMmEUY>),

cuyo autor es el saxofonista americano John Coltrane y grabado en 1967, pero publicado en 1974, constituyendo un dueto en cuatro partes con el batería Rashied Ali. Originalmente el álbum contenía cuatro piezas: Marte, Venus, Júpiter y Saturno. Posteriormente se incorporaron otras dos piezas: Leo y Variaciones de Júpiter, como apareció en la grabación de 1978. Este álbum es un conjunto de piezas de Jazz libre improvisado, que fue objeto de atención de Coltrane en la última parte de su carrera. Improvisaciones que contienen modos y armonías tácitos y modulaciones (cambios de tonalidad) expresadas mediante giros densos y un fraseo con la duración de una exhalación. Así que, está pro-

*John Coltrane, maestro del jazz.*

*Analogía cosmos-  
música.*

puesta la analogía cosmos - música para justificar el funcionamiento del primero a través de la segunda. Brillante idea.





## Antes que la vida

Según Power, la molécula AICA ribonucleótido (o AICAR), que es muy parecida a la molécula de sacarosa con la que endulzamos té, chocolate y café, se utilizó en 1980 para preservar el flujo sanguíneo durante una intervención cardíaca y se ha mostrado eficaz en tratamientos de diabetes, al aumentar la actividad metabólica de los tejidos, por los cambios que induce en los tejidos musculares. Se ha usado clínicamente para proteger de daños en la isquemia cardíaca. Se ha descubierto que reacciona con fósforo y da lugar a una serie de procesos que son preexistentes a la vida y propios del RNA. Esto la hace concebir como una estructura preexistente a la vida y, por tanto, presente en el Universo a nivel prebiológico. Las implicaciones de esta propuesta son de alcance. Szostak denomina a este tipo de moléculas "mongrel" (híbridas) por contener una mezcla de ADN con nucleótidos de ARN, que indican una especie de estadio intermedio en la formación de las cadenas del ADN.

*La molécula AICAR.*

*Moléculas híbridas son aquellas que contienen una mezcla de ADN con nucleótidos de ARN.*

El hallazgo de los intrones y extrones en el ADN basura, que emerge del Proyecto Genoma II, supone que lo que se suponía que era basura, no lo es. La conclusión es que el 80% del genoma humano tiene alguna función bioquímica en algún tejido o alguna fase del desarrollo o de la vida adulta. Y el 95% del genoma, está implicado en la regulación de los genes convencionales y la variabilidad de las enfermedades se encuentra ligada a esas zonas, que hasta ahora se denominaban basura. Los intrones son los segmentos de

*El 80% del genoma tiene alguna función bioquímica*

*Es un misterio el papel de los intrones en la evolución biológica.*

*El ADN y las correlaciones fractales.*

*En la secuencia del ADN, la posición de los nucleótidos depende en gran medida de los precedentes.*

ADN que no codifican, por tanto, es un misterio su papel en la evolución biológica, con gran trascendencia, porque afectan a la mismísima teoría de la evolución. Hasta 2010 ha sido así, por cuanto según Reyes, se ignoraba el papel modulador de los intrones y exones o extrones y se pensaba que el ADN basura estaba compuesto de secuencias no codificadas.

En 2011 se puso en valor un estudio publicado en 1992 en Scientific American, que demostraba que el ADN presentaba correlaciones fractales. El tráfico de línea diario, los terremotos y las elecciones presidenciales, usualmente, parece que responden a dinámicas regidas por el azar. Pero los investigadores de la teoría del caos han evolucionado hacia patrones llamados de gestión fractal, para encontrar orden en tales eventos impredecibles, Stanley, físico de la Universidad de Boston, propuso agregar el ADN al catálogo de cosas tipo fractal, porque "hay algo de fenómeno mágico relacionado con lo que no comprendemos". El patrón ordenado de los fractales, emerge porque un incidente, en el sistema aparentemente caótico, está realmente correlacionado con una ocurrencia previa, algo parecido a que un atasco de vehículos, de esos que duran mucho tiempo, en los que los vehículos se mueven lentamente durante mucho tiempo, pueda provenir de que un motorista, por ejemplo, de esos que llevan una cinta en el cuello y montan una motocicleta de esas de gran cilindrada, "custom", pisó levemente el freno. Stanley y col. han demostrado que la posición de los nucleótidos adenina, guanina, citosina y timina en la secuencia del ADN, depende en gran medida de los nucleótidos que los preceden. El patrón de las secuencias de nucleótidos es muy similar a un parpadeo, o un ruido

1/f (se verbaliza, uno sobre f) Estas fluctuaciones son análogas en la escala de tiempo a la forma de los fractales, tales como los copos de nieve o las líneas de costa, que gozan de la propiedad de autosimilaridad, es decir, que las partes componentes se parecen a la estructura total. Los patrones de ruido 1/f son, justamente, prevalentes por naturaleza, como ocurre con sus contrapartes geométricas; las podemos encontrar en muy diversos fenómenos, desde los circuitos eléctricos hasta las inundaciones, pasando por la música, como apunta Voss. Pero los pares de bases del ADN no están completamente al azar, sino que muestran patrones aproximados al 1/f (siendo f los pares de bases en los que se repite un nucleótido particular. Li, un colaborador de Stanley encontró que existen correlaciones en las secuencias intron del ADN (a veces referidos como "ADN basura", porque no codifican información estructural). Las regiones que portan información real están localizadas en las secuencias llamadas exones, a los que le falta correlación de largo alcance y parecen "ruido blanco" (señal al azar con densidad espectral de potencia constante). Se ignora por qué muestran correlaciones las secuencias de los intrones, pero no las de los exones. Es posible que las correlaciones de largo alcance que lleguen a miles de pares de bases representen una compensación entre almacenaje de información eficiente y protección frente al error en el código genético. Los exones no presentan correlación porque precisan llevar la mayor información posible. Voss encontró que las secuencias de los organismos situados en el escalón más bajo de la evolución (bacterias y bacteriófagos) fueron las de menor correlación.

*Fluctuaciones en la escala del tiempo análogas a la forma de los fractales.*

*La información real está localizada en los exones.*

*Compensación entre almacenaje de información eficiente y protección frente al error en el código genético.*

*No disponemos de un modelo que rinda cuenta de los fenómenos fractales.*

Para los organismos superiores aumenta y alcanza el patrón  $1/f$  en los invertebrados y decrece para los vertebrados, mamíferos, roedores y finalmente primates. En cambio Stanley afirma que las correlaciones aumentan al subir en la escala evolutiva, descubriendo que "conforme evolucionamos, las correlaciones de largo alcance llegan a ser cada vez más fuertes". Así pues, los organismos más simples no necesitarían protección de error para mantener las secuencias más complejas del ADN. La naturaleza tiene esas fluctuaciones fractales y de tipo  $1/f$ , como apuntó Voss. Esto explica por qué la música es placentera, ya que intenta imitar la naturaleza construyendo ruido  $1/f$ , pero carecemos, todavía, de un modelo que rinda cuenta de la ubicuidad del  $1/f$  y de los fenómenos fractales. Hay mucho trabajo por hacer.





## TRAZO 1.7

## Anyones y qupartículas

Antes del advenimiento de la Mecánica Cuántica, la Física Fundamental ya estaba marcada por un peculiar dualismo: por un lado, los campos eléctrico y magnético estaban gobernados por las leyes de Maxwell y el concepto de campo comportaba que el espacio era continuo y, por otro lado, los átomos, descritos por las leyes de Newton, estaban limitados, eran objetos discretos y pequeños. Luz y materia constituían una dualidad. Cuando emergió la Mecánica Cuántica se cumplían unos doscientos años para la materia y unos cincuenta para la luz y se unificó el tratamiento de ambas, bajo la misma estructura matemática. Fotones y átomos con electrones pasaron a verse como unidades discretas con propiedades reproducibles, pero que no estaban localizadas en el espacio y su posición venía dada por una distribución de probabilidad, que es el cuadrado de la llamada función de onda, que, a su vez, es el campo que llena el espacio. Estas partículas cuánticas difieren de sus antecesoras clásicas, incluso en su denominación. Del mismo modo que denominamos qubits a la versión cuántica del bit clásico, por analogía, las partículas cuánticas se denominans "qupartículas".

La unificación de la radiación y la materia presenta limitaciones, como las relacionadas con el comportamiento de colecciones de qupartículas idénticas, porque aparece un nuevo dualismo: el reino de los bosones (en honor de su descubridor, Bose) y el reino de los fermiones (en honor de su descubridor, Fermi). Todas las especies de qupartículas son una u

*Importancia del dualismo y del concepto de campo.*

*Distribución de probabilidad.*

*Bit, qubit y qupartículas.*

*Unificaciòn de la radiaciòn y la materia.*

*Estadística  
Cuántica.*

*Fermiones y  
bosones.*

*Tabla Periódica  
de los elemen-  
tos.*

otra y sus interacciones son muy diferentes. La estudia la denominada Estadística Cuántica. Los bosones son muy conformistas, se comportan de igual forma, es decir que cuando son iguales tienen una probabilidad reforzada para ocupar el mismo estado cuántico. Los fotones son un buen ejemplo de bosones. Un láser, que es un chorro de fotones, todos de la misma frecuencia, que van en la misma dirección, como resultado de una emisión estimulada de fotones, con un buen ejemplo de muchos bosones iguales. Los fermiones, por contra, son individualistas, no pueden ocupar el mismo estado cuántico (principio de Pauli). Los electrones son fermiones. Cumplen el Principio de Pauli que establece que en cada estado cuántico no pueden encontrarse más de una partícula fermiónica. Este es el principio al que se debe la existencia de la Tabla Periódica, dado que los electrones se distribuyen en capas que se van rellenando de forma que en un mismo estado cuántico no hayan dos electrones iguales. La Tabla periódica es la ordenación según el número de electrones. Los electrones tienen carga negativa y resultan atraídos por la carga positiva del núcleo, que evitan de forma eficiente y adoptan unas configuraciones complejas que dan origen y sustentan la Química.

Estos dos colectivos, bosones y fermiones, pudieran verse reconciliados de existir la supersimetría como armazón teórico, ya que cada partícula tendría su opuesta, su "supersocio". De esta forma, el supersocio de un bosón es un fermión y viceversa. Comparten la misma carga eléctrica y otras propiedades, pero difieren en la masa y en el espín. Es muy posible que ésta sea la explicación más cabal, como dice Wilczek. Mientras



se dilucida esta conjetura teórica, de la que todavía no hay evidencia directa, los investigadores de éste área se esfuerzan en encontrar evidencias que lo permitan. Es lo que hacen los que trabajan en el Gran Colisionador de Partículas, como el de Ginebra, aunque con las energías empleadas hasta ahora no se han encontrado, todavía. Queda margen de energías para lograrlo.

*Supersimetría.*

La Estadística Cuántica está en la base de la potencial explicación. Es una rama reciente, de la década de los setenta y refleja la topología de las qupartículas. La probabilidad de un proceso viene dada por el cuadrado de la amplitud de la función de onda. El problema central es calcular la amplitud de probabilidad para una configuración dada de partículas. La amplitud total de dos qupartículas que parten de las posiciones 1 y 2 y finalizan en 3 y 4 tienen que tomar en cuenta todas las contribuciones de todos los posibles movimientos que conectan las posiciones de partida y las de llegada. Otro tipo de movimiento distinto, las llevará de 1 y 2 a 4 y 3. El quid de la cuestión consiste en cómo podemos combinar estas opciones. Lo podemos lograr de dos formas: sumándolas o restándolas. Si las sumamos tenemos los bosones y si las restamos tenemos los fermiones. De aquí se deducen las propiedades básicas.

*La Estadística Cuántica está en la base de la explicación.*

Pero el mejor logro consiste es comprender nuevas cosas, como las derivadas de considerar las qupartículas en dos dimensiones. Aquí la topología de los pares de itinerarios es más rica que en tres o mas dimensiones. La razón reside en la naturaleza de los nudos. En tres dimensiones la teoría de nudos es un tema complicado, mientras que en cuatro dimensio-

*Las qupartículas en dos dimensiones,*

*Teoría de nudos.*

nes es trivial. Un nudo, en matemáticas, es una curva continua en el espacio. Supongamos que marcamos cada punto de una curva enredada (un nudo) mediante un número entre el 0 y el 1, representando 0 y 1 al mismo punto. Hagamos lo mismo con un círculo. Para desenredar el nudo, simplemente tomamos los puntos del nudo y los ponemos en correspondencia con los puntos del círculo marcados con el mismo valor. Podrán darse obstrucciones como que diferentes partes de la curva sufran intersecciones. Pero, en cuatro dimensiones siempre podemos mover dos tiras que se enredan. Puede que directamente no se visualice con facilidad, pero podemos entenderlo con un simple truco. Vamos a representar la posición en la dimensión extra mediante el valor de una temperatura ficticia. Si la intersección ocurre en un punto en que las temperaturas de las dos tiras son diferentes, no es una intersección genuina, dado que las tiras están localizadas de forma diferentes en la dimensión extra. Si las temperaturas son iguales, necesitamos únicamente hacer una excursión en la dimensión extra (calor de una de las tiras al movernos en las dimensiones ordinarias) y al enfriar se evita la intersección. Los itinerarios de las quipartículas que se mueven en el espacio tridimensional forman tiras en el espacio-tiempo tetradimensional. Por tanto, no se enredan (entrelazan). Su topología lo reduce a mantener la pista de los intercambios.

*Cuatro dimensiones**La topología de las quipartículas se reduce a mantener la pista de los intercambios.*

Los anyones son susceptibles de estar entrelazados. En las dimensiones del espacio tridimensional (incluyendo una dimensión para el tiempo), el par de trayectorias puede estar no entrelazado en un par "sin intercambio". Esto impone una condición de consistencia en el

factor asociado al intercambio. Si lo aplicamos dos veces, debemos volver atrás, al punto en el que comenzamos. Debido a esto, los únicos factores de intercambio consistentes son 1 y -1, correspondientes a bosones y a fermiones. En un espacio bidimensional (mas la dimensión del tiempo), sin embargo, la hebra serpenteante de una de las trayectorias alrededor de la otra no se puede deshacer mediante ningún movimiento continuo. La condición de consistencia se relaja y los anyones surgen como una posibilidad. Así pues, mientras que las hebras en tres dimensiones pueden estar entrelazadas, las trayectorias de las qupartículas cuyo movimiento está confinado a dos dimensiones forman hebras en el espacio-tiempo tridimensional.

*Anyones y entrelazamiento.*

Con una topología más rica, viene de la mano una mayor variedad de posibilidades para agregar contribuciones a las trayectorias. Es decir, hay muchas más posibilidades para la Estadística Cuántica y, de este modo, más categorías de partículas, más allá de los bosones y los fermiones. Se ha acuñado el término "anyon" para describir qupartículas cuyo movimiento está restringido a un espacio bidimensional y que no son ni bosones ni fermiones. Los anyones obedecen reglas matemáticas altamente estructuradas. Dado que las reglas para el comportamiento de los anyones son sensibles al movimiento de las qupartículas con el tiempo, los anyones tienen memoria. Más precisamente, como la amplitud para una evolución que implique a anyones será distinta, en función de cómo de enredadas estén sus trayectorias con el tiempo, el valor de la amplitud proporciona un registro de su movimiento relativo. Esto es precisamente lo que potencia las aplicaciones tecnológicas.

*Hay más categorías de partículas, más allá de los bosones y los fermiones.*

*Los anyones tienen memoria.*

*Anyon.*

*¿Existen los anyones?*

El interrogante inquietante inquiriere sobre la existencia de los anyones más allá de la imaginación de los teóricos. Podría contestarse que en nuestro mundo no tiene cabida, dado que nuestro espacio es, al menos, tridimensional. Pero, lo cierto y verdad es que en torno nuestro hay muchos espacios bidimensionales: superficies, membranas, películas, interfases, etc. Son accesibles a partir de nuestro mundo tridimensional, pero tienen una vida propia. En términos más prosaicos, algunos de los objetos bidimensionales atrapan energía eficientemente y si no se les perturba, su comportamiento será sostenido. Las propiedades de esos universos dependen de lo que ocurra en su interior y del patrón de construcción del mismo. Los materiales bidimensionales han tenido mucho interés recientemente, cuando soportan electrones altamente entrelazados. Cuando los electrones forman enlaces covalentes no se pueden mover independientemente. De alguna forma están como congelados en una posición, formando una especie de sólido. Las fluctuaciones cuánticas pueden justificar que el sólido sublime, produciendo materiales en los que los electrones se muevan libremente, como si se tratase de un gas de electrones. Esta es una descripción muy cruda, pero muy útil para describir los electrones en los metales. También podemos imaginar situaciones intermedias, en las que los electrones no están localizados ni son independientes formando, por ejemplo, una especie de líquido. Estos líquidos, un tanto extraños, que funden gracias a fluctuaciones cuánticas, en lugar de mediante agitación térmica, resultan ser muy interesantes. En un estado como éste, los electrones permanecen ordenados, no tienen todavía rigidez severa. Este orden implica correlaciones

cuánticas sutiles. En suma, están entrelazados.

Las imperfecciones en estos líquidos dispuestos ordenadamente, se comportan como las impurezas en los líquidos ordinarios. Forman disposiciones estables que retienen la estructura básica, incluso cuando se mueven. Son un tipo de partículas emergentes, o más bien, como se trata de líquidos cuánticos, una especie de qupartículas emergentes. Han retenido algo de los electrones individuales y pueden tener propiedades muy diferentes de las de los electrones. "*Todo lo que no está prohibido es obligatorio*", es una frase de una novela de T.H. White, que expresa un importante principio del comportamiento cuántico. La actividad espontánea de los sistemas cuánticos explora todas las posibilidades consistentes. La Naturaleza, en su abundancia, proporciona materiales para encarnar todas las posibilidades teóricas. Prácticamente, todo lo imaginable puede tomar visos de la realidad

*Líquidos, que funden gracias a fluctuaciones cuánticas, en lugar de mediante agitación térmica.*

El primer ejemplo fascinante a considerar es el denominado efecto Hall cuántico fraccionario. Es un estado de la materia que surge cuando los electrones están confinados en una capa bidimensional (típicamente ocurre en la interfase de dos semiconductores) que se someten a temperaturas extremadamente bajas y sometidas a campos magnéticos extremadamente elevados. En estas condiciones, como varía la densidad y el campo magnético, los electrones forman una clase de líquidos cuánticos distintos, aunque relacionados con propiedades singulares. Concretamente, las qupartículas emergentes en estos líquidos

*Qupartículas emergentes.*

*Efecto  
cuántico  
fraccionario.*

*Hall  
frac-*

transportan cargas eléctricas que son fracciones de la carga del electrón y obedecen estadísticas cuánticas que son una fracción de la estadística de fermiones. En los estados más robustos del efecto Hall cuántico fraccionario, las qupartículas se comportan como un tercio de un electrón; es decir, un electrón que se inyecte se fisionará en tres de estas qupartículas. Consistente con esta descripción, las qupartículas se predicen ser anyones, que exhiben estadísticas de un tercio de fermión. En términos matemáticos, la amplitud para el intercambio de nuestras quparticulas se multiplica por la raíz cúbica de  $-1$ . La teoría del efecto Hall cuántico fraccionario se ha desarrollado suficientemente como para hacer predicciones sobre los líquidos cuánticos. Las qupartículas son una cuestión central en la teoría y no hay duda entre los teóricos de que los anyones existen en la Naturaleza. Los estudios numéricos soportan tal cosa. Pero por desgracia, la evidencia experimental es difícil tenerla, pero por razones prácticas.

*Líquidos  
de espín.*

Muy recientemente se han detectado otros líquidos cuánticos, denominados líquidos de espín. En este caso los electrones no se mueven, pero sus espines sí. Los líquidos de espín, están ligados usualmente a magnetos (sólidos de espín) en los que las direcciones de los espines están rígidamente alineadas y los materiales paramagnéticos o diamagnéticos (gases de espín) en los que las orientaciones del espín son casi completamente independientes unos de otros. Los modelos teóricos bidimensionales de los líquidos de espín muestran que muchos de ellos soportan qupartículas anyónicas. El problema práctico del comportamiento anyónico es menos severo en los líquidos de espín que en el efecto Hall

cuántico fraccionario, de forma que es de esperar un progreso más rápido.

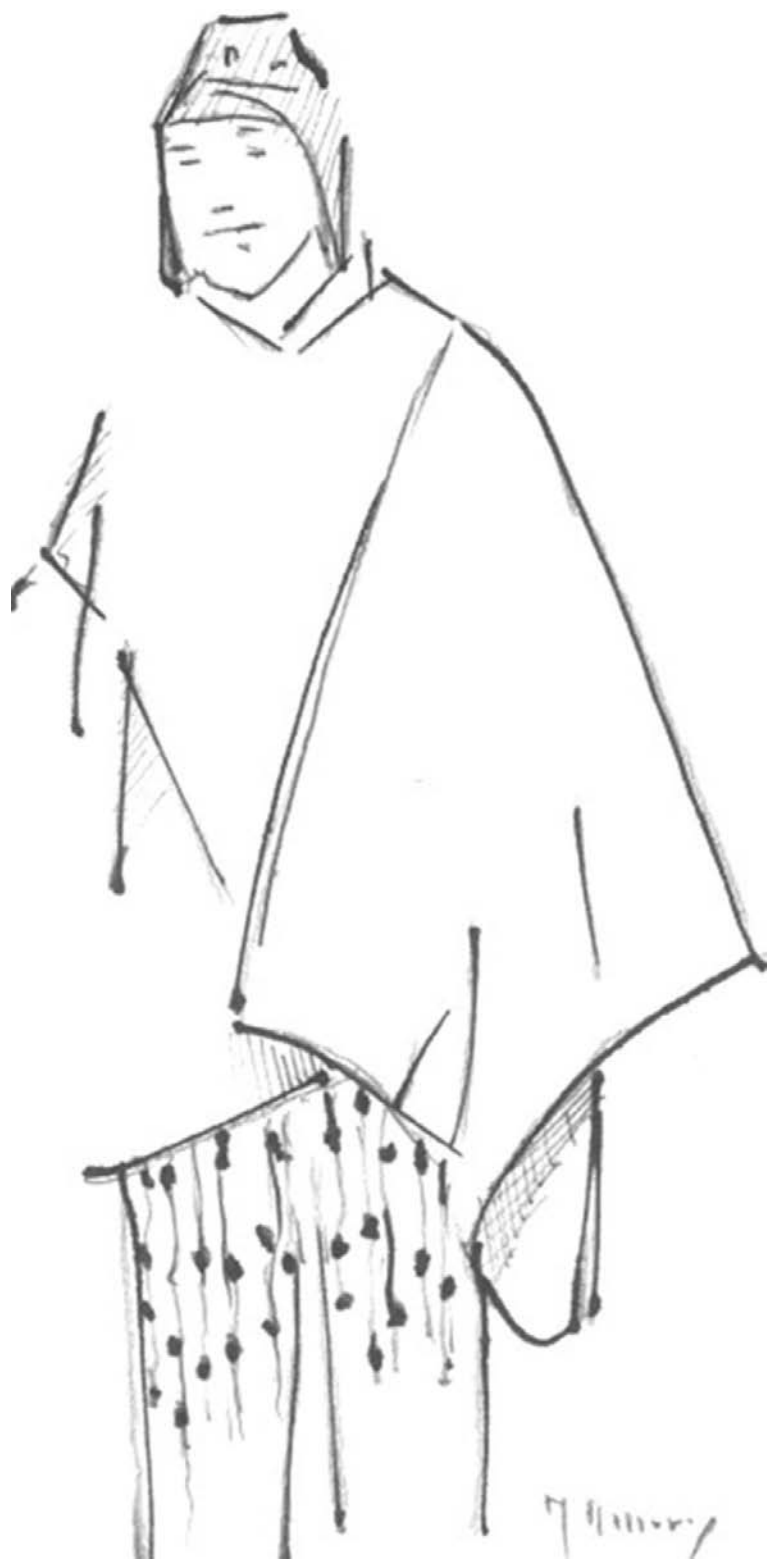
Hay que hacer hincapié que lo característico de los sistemas de anyones, que los distingue de las qupartículas es su memoria. Los sistemas de muchos anyones pueden dar lugar a memorias colectivas grandes, susceptibles de empleo como plataformas para computación. Es la denominada "computación cuántica topológica", que hoy es una alternativa a la construcción de computadores. Microsoft dice estar en ello. La computación con anyones explota la habilidad para cartografiar sus historias registradas en los nudos y convertirlas en amplitudes mecanocuánticas. Se trata de moverse en torno a los anyones por caminos nítidos y tener acceso a la historia del entrelazado de sus movimientos. La computación cuántica topológica es, por tanto, una forma de computación con nudos, con anudaciones. Como tal, es una especie de modernización del quipu andino, una tecnología Inca para la computación y encriptación. Auténticas bases de datos de las que los inspectores de Hacienda de la época del virreinato del Perú se servían para disponer de la información sobre el pago de impuestos que registraba en su viaje para después rendir cuentas y disponer del detalle de quienes habían pagado y cuanto habían abonado. Si la computación topológica, eventualmente, lidera la potencia de los computadores, la inteligencia artificial residirá en materiales bidimensionales, embebidos en sistemas circulantes de anyones. El progreso no desdeña ninguna de las direcciones de avance posibles.

*Es difícil la evidencia experimental de los anyones.*

*Los sistemas de muchos anyones pueden dar lugar a memorias colectivas grandes.*

*La computación cuántica topológica.*

*El Qipu incaico como analogía.*



7/11/2017



## Argentado mate

El ejemplo genuino de “*solución sin problema*”, se le otorga al Laser. La Ciencia del Láser quedó establecida en 1905, con la proposición de Einstein acerca de la emisión estimulada de radiación, que es la base. Hasta la década de los sesenta no se construyó un dispositivo capaz de plasmar aquella idea y concretarla. Pero, una vez materializado el instrumento faltaba problema al que aplicarlo. Así que se dijo de forma lapidaria que era una solución en busca de un problema. No era la primera vez que ocurría una cosa parecida. Con el aluminio pasó algo similar. No resultó fácil su obtención en los albores de la Electroquímica.

*Una solución en busca de un problema.*

En 1884 Herauld, que pretendía construir un horno de fundición en Paris, se trasladó a su ciudad natal para hacerse cargo de la tenería de su padre, tras el fallecimiento de éste. En realidad, al frente del negocio continuó el maestro que lo había dirigido durante décadas y él montó en el jardín un laboratorio para continuar con los trabajos de investigación en busca del aluminio. Bunsen y después Davy lo habían logrado hacía más de ochenta años, pero tímidamente. Herauld creyó que todo consistía en disponer de una dinamo suficientemente poderosa para lograrlo. Encargó un motor Deutz de caballo y medio para hacer girar la dinamo. Su filosofía consistía en no tener que conducir el calor desde fuera hacia dentro de la masa de fundición. El calor debía generarse en la misma masa. Las vasijas de porcelana parecía que dificultaban el proceso porque, se pensaba, el aluminio extraía ácido

*En busca del aluminio.*

*Un horno muy especial.*

*Bronce alumínico.*

*Era hora de hacer algo con el aluminio.*

silícico de la porcelana y se tornaba frágil. Diseñó un horno consistente en paredes de carbón que actuaban como cátodos y un receptáculo sobre el que descendían barras de carbón que hacían de ánodo móvil que se insertaban en una base de cobre y cerraban el circuito. El cobre se fundió con el calor que se desprendió y amontonó arcilla e hizo subir las barras de carbón hasta que tocaran la parte superior de la arcilla. Al aplicar la corriente, la arcilla se "dividió" en aluminio metálico y oxígeno. Éste se combinó con el carbón, formando "óxido" de carbono. El problema hasta entonces había sido aislar el aluminio "puro" formado. De no utilizar cobre, el aluminio se hubiera mezclado con el carbono de los electrodos, arruinando su valor. Así, al utilizar el cobre, el aluminio había formado una aleación con el cobre y era insensible al carbono. En todo caso, lo que se obtenía de esta forma, era una barra metálica amarilla a la que Herault llamaba bronce alumínico (casi aluminio). Mostraba casi las ventajas del aluminio y obtuvo en 1886 la patente francesa y en 1887 la belga, la inglesa y la alemana y, finalmente, en 1888 la de Estados Unidos.

Muy cerca de las instalaciones en las que trabajaba Herault, en Harcourt, en la localidad de Neuhausen, el Rin tenía una cascada y muy cerca de la orilla la familia Neher explotaba una forja de hierro. El trazado del tren no había contemplado Neuhausen y el transporte de carbón y materias primas no era muy fluido, con lo que la forja heredada de la familia, pasaba por tiempos críticos. En uno de los viajes en que visitaba a más acreedores que clientes, fue a la empresa Esecher Wyne y Cia en Zurich y sorprendentemente fue el director, Naville, quien afirmó que ya era hora de hacer

algo con el aluminio. Le hizo saber que estaba en condiciones de disponer de un arco voltaico para obtener aluminio. Necesitaba mucha corriente, lo que hacía preciso instalar en el Rin quince instalaciones de turbinas para disponer de una potencia de 1.000 caballos, al menos. Al pie del Rin no había otro terreno, salvo el de Neher y le propuso la construcción conjunta. Un año después llegó a Harcourt una carta para Herauld, cuando éste lo había abandonado todo y se había ido con su mujer en un bote por el Sena, interpretando una melodía compuesta por Herauld sobre el aluminio y con la música de la marsellesa, que él tocaba a la armónica y su mujer cantaba. Cuando regresó a Harcourt leyó el membrete de la carta y casi la quema sin leer el membrete de Escher, Wyss y Cia, de Zurich. Un ayudante abrió hasta tres cartas acumuladas, afirmando que era millonario gracias a su invento. Naville le decía que había pretendido construir la central eléctrica de 15.000 caballos, para poner en marcha el procedimiento de Kleiner-Fritz, que usaba el arco voltaico para obtener aluminio, pero el gobierno suizo no accedió, dado que no estaba claro cómo iba a quedar el tramo de río y la cascada tras la intervención. Pero, dado que de la patente de Herauld se desprendía que su procedimiento solamente emplearía una quinta parte de la corriente que requería el arco voltaico, estimaban que el Gobierno federal suizo accedería a una instalación tan moderada como ésta.

La duda de Herauld era que él sabía que no obtenía aluminio. El Consejo Federal Suizo autorizó una instalación de turbinas de 300 caballos. Se fundó la Compañía Metalúrgica Suiza y se inauguró en 1888. La electrolisis de fusión para obtener aluminio inició su andadu-

*Se precisaban, al menos, unos 1000 caballos de potencia.*

*El Consejo Federal suizo autorizó una instalación de turbinas de 300 caballos..*

*Obtención del cinc por electrolisis*

*Creolita*

*Argentado mate*

ra. Al tiempo, en Berlín, trabajaba un químico de la AEG en un horno de fundición, empleando creolita. Las publicaciones de Naville y Herault no dejaban la solución clara. En 1885 Killiani publicó un folleto sobre "Obtención del cinc por electrolisis" y la AEG decidió investigar para obtener aluminio. Killiani fue contratado por la AEG. Killiani pensaba, ideaba, calculaba, pero el brillo metálico no aparecía, aunque no desistía. Seguía las indicaciones de Herault. Obtenía aluminio, pero se mezclaba inmediatamente con cobre. Debía faltar poco, pero no lograba descubrirlo. Utilizó todos los cátodos imaginables, todos los electrolitos posibles. Comenzó con la creolita. Su punto de fusión es en torno a los dos mil grados, como la arcilla. El aluminio metálico entraba en ebullición a esa temperatura y se vaporizaba con lo que, además de un consumo exagerado de energía, el método no valía. Había que encontrar una mezcla electrolítica apropiada, una sustancia que rebajara el punto de fusión de la creolita. Killiani trabajaba con materiales puros, para identificar los problemas. Usaba creolita sintética, evitando las impurezas de la natural. Cierta día se quedó sin creolita y no podía lograrla con la premura de tiempo que sentía. Tomó un ejemplar de creolita natural que tenía, ¡mejor que ninguna! La pulverizó y la colocó en el horno para un ensayo. Conectó la corriente y pensaba que iba a fundir a 2000 grados, como siempre. Muy por debajo de los mil había tenido lugar la fusión y la masa fundida se agitó lanzando burbujas de aire con trozos sin fundir que explotaban. Algo fuera del orden natural estaba ocurriendo. Desconectó la corriente y dejó enfriar. Entre la masa solidificada había pedazos de color argentado mate. Ligeros, plateados. Era aluminio metálico ¡puro!

Killiani no sabía cómo era posible que aquello fuera aluminio. Examinó un cristal rojo que había aparecido al microscopio. Las facetas, el color, la refracción de la luz, le llevaron a considerar que se trataba de rubí, que no era otra cosa que óxido de aluminio. Su creolita natural contenía mezclada, arcilla. Esa era la mezcla electrolítica que producía aluminio en un horno de fusión.

*Rubí*

La empresa alemana AEG acabó proponiendo la fusión con la Suiza de Metalurgia, que llevaba a obtener aluminio en Neuhausen con la receta de Killiani. Neher tenía el agua y la instalación de la potencia eléctrica y la AEG el procedimiento. Se fundó en Zurich en 1888 la Empresa del Aluminio AG.

*Empresa del Aluminio AG.*

En un restaurante se sirven los platos a la mesa. Son de cinc. Alguien lo sopesa. Es un metal bonito, como lo es el hierro, el cobre o el latón. No requieren tanto trabajo como si tuvieran que ser de aluminio. No parece importante que pesara un cuarto menos. Pero tal vez, se pensaba que se requiera un material más ligero. Entonces ya se tenía preparado para cuando se precisara. El material más ligero y el asociado a la velocidad estaba dispuesto. Era un material en busca de problemas (usos). Se anticipaba al láser en casi un siglo. ¡Nada nuevo!

*El material más ligero y asociado a la velocidad*



## Atrapando

La espectroscopía de moléculas únicas (single), es un campo científico de enorme interés y actualidad. Es posible alcanzar esta resolución gracias al denominado atrapamiento óptico y manipulación de partículas neutras pequeñas. Las técnicas de atrapamiento láser han supuesto un cambio revolucionario en muchos campos de la Física, la Química y la Biología. En la dispersión de luz, ha supuesto poder llevar a cabo estudios de alta resolución de la dispersión Mie. En Física atómica, el atrapamiento láser y las técnicas de enfriamiento han logrado aislar a átomos, alcanzando las temperaturas cinéticas más bajas del Universo, obteniendo condensados de Bose-Einstein y, más recientemente, se han logrado láseres atómicos. Se han efectuado avances significativos en relojes atómicos y medidas de fuerzas gravitacionales. En Biología y en Química, las técnicas láser han permitido atrapar y manipular células vivas, células con organelos, moléculas biológicas y medir las fuerzas mecánicas y las propiedades elásticas de células y moléculas.

*Técnicas de atrapamiento.*

El atrapamiento óptico tiene una larga historia, cumpliendo ya más de treinta años. La fuerza implicada en la presión que ejerce la radiación, proviene del impulso asociado a los fotones. En el caso de las fuentes de luz ordinarias es muy pequeña y solamente juega un papel menor en cuanto a afectar a la dinámica de las partículas. Pero cuando la fuente son láseres, incluso los que se usaron en los primeros experimentos, en el año 1961, ya evidenciaron que con una fuente láser, las cosas son de otra

*Atrapamiento óptico.*

manera, porque afecta de forma significativa la dinámica de pequeñas partículas. Esos efectos son los que dan lugar al área científica denominada atrapamiento y manipulación de partículas, que hoy está muy extendido y tiene una amplia repercusión.

*Desde unos  
cuantos  
Angstroms  
hasta 100  
micras*

El atrapamiento se ha logrado en partículas cuyo tamaño se encuentra comprendido entre unos cuantos angstrom hasta 100 micras, es decir abarca hasta seis órdenes de magnitud. En términos de temperatura o energía, los átomos se enfrían hasta bajar desde unos 1000 K hasta un microkelvin, es decir, unos 9 órdenes de magnitud.

*Se manejan con-  
ceptos muy sim-  
ples*

La teoría que sustenta el proceso, solamente maneja conceptos muy simples, como son la conservación del momento, el modelo de rayos ópticos y las ecuaciones de velocidad semiclásicas. Con ello se puede describir y comprender tanto las fuerzas que intervienen, como el propio atrapamiento óptico. Ciertamente, con estos pocos conceptos y algo de suerte, se descubrió el atrapamiento de partículas. El razonamiento tiene mucho que ver con el que haríamos para calcular la magnitud de la fuerza que se ejerce a través de la presión de la radiación sobre un espejo que la refleja. El momento de un fotón es  $h\nu/c$ , siendo  $\nu$  la frecuencia,  $h$  la constante de Planck y  $c$  la velocidad de la luz. Si la potencia de la radiación incidente es  $P$ , entonces el número de fotones que golpean el espejo será  $N = P / h\nu$  ya que  $h\nu$  es la energía del fotón. Suponiendo que todos los fotones se reflejan, el cambio total en el momento de los fotones será  $2 P/c$  (sumar el momento de los que llegan y de los que parten). Claro que, para que se conserve el momento, el espejo tiene que

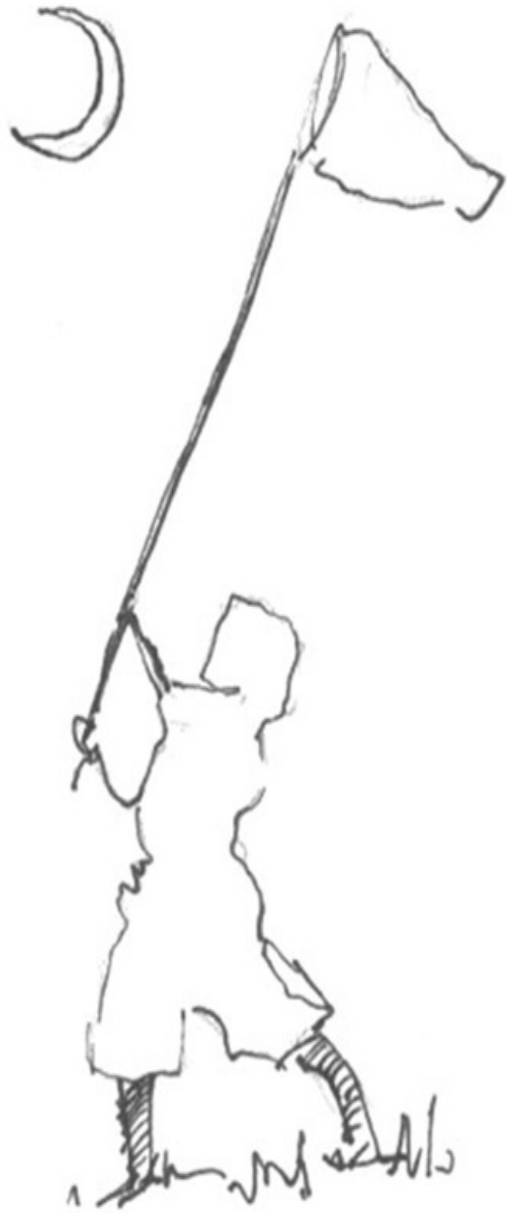


absorber ese cambio, es decir que el espejo adquiere un momento 2 P/c. Si suponemos que la presión de la radiación es solo 1 watio, el momento que adquiere el espejo es de 10 nanonewtons, que es una fuerza demasiado pequeña en términos absolutos. Pero supongamos que empleamos una fuente láser del mismo watio de potencia, pero concentrada en un spot pequeño, de una micra de diámetro, por ejemplo, y vamos a suponer que la luz tiene una longitud de onda de 1000 nanómetros (1 micra). Si tratamos a una partícula cualquiera, como si fuera un espejo de densidad 1 gramo por centímetro cúbico y suponemos que le llegan los mismos fotones que anteriormente le alcanzaban, lo que suponía un impulso de 10 nanonewtons, ahora cuando colisionen con la partícula le imprimirán una aceleración que será:  $a = F / m = 10 \text{ nanonewtons} / 10^{(-12)} \text{ gramos} = 10^{(9)} \text{ centímetros por segundo}^{(2)}$ . Para que valoremos lo grande que es esta aceleración, añadiremos que es equivalente a  $10^{(6)} \text{ g}$  (se lee g y es aceleración, no peso, no gramos), lo cual es enorme y tendrá efectos observables. Es decir, con miliwatios de potencia, ya se dan efectos perceptibles.

*Con milivatios de potencia ya se obtienen efectos perceptibles.*

Partículas, moléculas, átomos, solos, aislados, únicos, están ofreciendo información muy valiosa. Utilizando las denominadas trampas ópticas o pinzas ópticas se han investigado, por ejemplo el movimiento, la mitosis, la exocitosis y las propiedades mecánicas de la célula. Pero también se ha estudiado con mucho detalle la estructuración del ADN o del ARNm y proteínas, el proceso de replicación y la actividad de los modernos motores moleculares. La ventana se ha abierto para mirar de cerca. ¡Promete!

*Trampas ópticas o pinzas ópticas para estudiar moléculas de interés.*



*of Gmari*

## TRAZO 1.10

## Bases quimicofísicas de la razón de oro

La llamada divina proporción ha causado admiración desde tiempo inmemorial. La arquitectura la ha usado con gran profusión en todo tipo de construcciones. Seguramente, transmite una armonía que justifica su aceptación por el ser humano. El Partenón griego lo cumple, por ejemplo. En todo caso, el mundo natural lo emplea espontáneamente y está presente por doquier, desde la configuración de los pétalos de una flor, hasta la ramificación de plantas y árboles o conformación de conchas de moluscos. Luca Pacioli la introdujo en su Divina Proporcione escrito entre 1496 y 1498.

*Divina  
Proporcione de  
Luca Pacioli.*

La razón de oro es un número muy especial que se representa por la letra griega phi minúscula y que vale aproximadamente 1.618. Proviene de la relación entre la suma de la longitud de dos segmentos de distinto tamaño, dividido por la longitud del mayor, que se hace igual al cociente entre las longitudes del mayor sobre el menor. El auténtico valor es 1.61803398874989484820... continuando sin repetirse, ya que se trata de un número irracional. La sucesión de Fibonacci consiste en que cada término es igual a la suma de los dos anteriores, comenzando por 0 y 1: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ... Si tomamos dos números consecutivos de la serie de Fibonacci, su cociente está muy cerca de la razón de oro y cuanto más grandes sean los números (más avanzados en la sucesión) más aproximado es. Sorprendente resulta que siendo la razón de oro un número irracional, se pueda tener una fórmula general que suministre los números de la sucesión de Fibonacci, que son

$\phi = 1.618\dots$ ,  
*un número irracional*

*Sucesión de  
Fibonacci.*

*El pentagrama a pentáculo.*

números enteros. El pentagrama o pentáculo, que es la estrella de cinco puntas, conocido como símbolo mágico, que encierra un pentágono y si unimos los vértices está circunscrito en otro pentágono, tiene oculto el número de oro muchas veces.

*La flor de girasol.*

En la flor de girasol se advierten estructuras alineadas, de forma que se observan hileras dispuestas formando espirales, algunas de ellas siguiendo el movimiento de las agujas del reloj y otras en sentido contrario. Si efectuamos un conteo, reparamos que siempre hay 13 que se dirigen hacia la derecha y 21 que lo hacen a la izquierda. Sea la flor margarita o de girasol, del tamaño que sea, estas espirales satisfacen relaciones entre miembros sucesivos de la sucesión de Fibonacci: 13/21, 34/55, 55/89,... En botánica la presencia de los números de Fibonacci es muy usual. En 1968 Brousseau analizó 4290 piñas de 10 especies de pinos de California. Solamente 74 piñas no satisficieron los números de Fibonacci. En 1992, Jean en su artículo publicó que de 12.750 observaciones en 650 especies reflejadas en la literatura de Botánica de los últimos 150 años, en más del 92 por ciento de plantas con disposición espiral de sus elementos aparecía la sucesión de Fibonacci. Entre los 12.750 casos, la sucesión de Lucas (Edouard A. Lucas, 1842- 1891, que es una sucesión muy parecida a la de Fibonacci, pero que comienza con 2,1,... en lugar de: 1, 2,... con los que empieza Fibonacci) se encontró en un dos por ciento. La disposición de las escamas de las piñas, se organiza en torno a dos espirales de escamas: una dextrógira y otra levógira. Se ha constatado empíricamente que en un número muy elevado de estas especies, son números consecutivos de la sucesión de Fibonacci.

*Los números de Fibonacci son muy usuales en botánica.*

*La sucesión de Lucas.*

Otros ejemplos son las "panderetas" de girasol, las "cabezuelas" de las margaritas, etc. Las hojas de buena parte de plantas de tallo alto, se sitúan en torno al mismo y se puede identificar una espiral. Más concretamente, en Filotaxis se verifica la denominada ley de divergencia: "en cada especie de plantas, el ángulo que forman dos hojas consecutivas, llamado ángulo de divergencia, es constante".

*Ley de divergencia.*

La presencia de la razón de oro en gran cantidad de escenarios naturales, ha dado lugar a toda suerte de interpretaciones. La mayor parte de las veces es simplemente descriptiva e interpretada por las consecuencias, sin dar explicación cabal de las razones genitoras. El crecimiento en espiral no solamente se da en las semillas de girasol: hojas, ramas y pétalos también pueden crecer en espiral. Cuando se leen explicaciones de las razones de que sea así se dice, por ejemplo: "Para que las hojas nuevas no bloqueen la luz solar a las hojas más antiguas" o "para que la cantidad de lluvia que llegue a las raíces, sea la mayor posible". Por otro lado los números que forman parte de la sucesión de Fibonacci suelen darse individualmente: las flores de la margarita tienen 21 pétalos. Las plantas que generan espirales, implican una rotación que tiende a ser una fracción que responde a cocientes entre números de Fibonacci. El ángulo de oro designa a  $137.5^\circ$  que equivale a giros de  $0.382$  y  $222.5^\circ$  que corresponde a un giro de  $0.618$ .

*Presencia de la razón de oro en muchos escenarios naturales.*

La dimensión estética de la razón de oro no se limita a aspectos arquitectónicos o constructivos, sino, en general, a patrones de belleza de imagen y composición musical. Así, Mozart en su Sonata nº.1 para piano, divide el primer movimiento en dos grupos de compases de 38

*Mozart y la razón de oro en su música..*

y 62 cada uno de ellos. El cociente es 1.6315 (difiere en un 1% de la proporción de oro). Pero el segundo movimiento vuelve a dividirlo en otras dos partes de 28 y 46 compases, cuyo cociente es 1.4628. La sonata nº 2, en el primer movimiento, las partes contienen 56 y 88 compases, con cociente 1.5714. No cabe duda que Mozart concebía una organización de los tiempos que implicaba una simetría, que a "largo plazo", como consideraríamos a los movimientos, está regida por Fibonacci, mientras que a corto plazo, está regida por partes de igual duración y que opera sobre frases o motivos. Hay que reparar la practica evidencia de que el largo plazo no se percibe por el humano de forma consciente y objetiva, y habrá que suponer que la acción de estos patrones incidirán en el subconsciente. Habrá que seguir estudiando y aprendiendo acerca de ello.

*Explicación fisicoquímica de la razón de oro.*

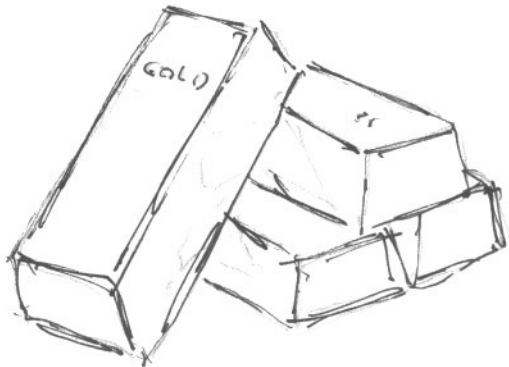
La explicación fisicoquímica hay que buscarla en otros fundamentos. Las espirales de Fibonacci podrían estar relacionadas con la tensión y el principio de mínima acción, como sugiere Zexian Cao y col. Generaron microestructuras de tan solo 10 micras de longitud con un núcleo de plata y una cubierta de sílice  $\text{SiO}_2$ . Descubrieron que cuando las cubiertas eran esféricas, durante el enfriamiento, se formaban patrones triangulares y si se establecían formas cónicas, los patrones de tensión eran espirales, que, justamente, satisfacían las espirales de Fibonacci. Esto induce a pensar que la presencia de Fibonacci no es por azar sino que puede, muy bien, estar relacionado con un problema que planteó en 1904 J.J. Thomson,

cuando se estaba formulando el modelo atómico por vez primera y trataba de dar forma a la organización de un conjunto de cargas que se distribuyen en una esfera conductora, de forma que se minimize la energía. Pues, justamente, las cargas adoptan patrones triangulares, como las detectadas por Cao y col. Es de aquí que se infiere que las espirales de Fibonacci de las microestructuras cónicas, se puedan deber a la adopción de una configuración de minimización de la energía, para un cono. Hay que recordar que el triángulo es el único polígono que no se deforma cuando se aplica una fuerza y cualquier otra forma geométrica que tenga elementos de una estructura no será rígida hasta que no se triangule. Desde hace tiempo, los biólogos venían sospechando que la presencia de la serie de Fibonacci en las ramas de los árboles y otras apariciones era consecuencia de la minimización de la tensión. Ahora, ya parece que se empiezan a ofrecer pruebas cabales de que sea así. Las experiencias de Cao se han llevado a cabo con materiales inorgánicos, pero el principio es el mismo.

*Thomson y el modelo atómico a principios del siglo XX.*

*El triángulo es el único polígono que no se deforma cuando se aplica una fuerza.*

*La minimización de la tensión es la clave.*



*of Damián*



## TRAZO 1.11

## El brillante sistema Braille

Tras la magnífica inauguración de la Tabla periódica mural de la fachada de la Facultad de Química, nada menos que la mayor del mundo, aunque esta valoración sea posterior a su realización y no pretendida a priori aunque, una vez lograda la marca, ya no pasa inadvertida para propios y extraños. Una tabla de esta categoría en un emplazamiento privilegiado como éste, induce muchas cosas. Quizás la primera sea incentivar a los propios profesores de la casa a conocer con detalle el conocimiento asociado a cada elemento. Sería complicado que alguien preguntara a un docente y no obtuviera una respuesta puntual sobre cualquiera de los elementos de la Tabla. Probablemente, otro incentivo se extiende a referir con alguna asiduidad los avances en el conocimiento que se van logrando asociados a cada uno de los elementos que la integran. Debates científicos en torno a ellos, por ejemplo, o relatos singulares de los mismos, o un largo etcétera de iniciativas que pueden sobrevenir y que, en el fondo suscitan hablar, reflexionar, pensar, debatir, la Química. Es sinónimo de profundizar en Ciencia. A buen seguro que esos docentes de impulso joven y ambición de conocimiento que se irán incorporando a la Facultad superarán las expectativas que hoy se puedan tener.

*La Tabla Periódica más grande del mundo.*

*Debatir la Química es profundizar en la Ciencia.*

Tras la inauguración oficial, me cautivó, al pasar al interior a inaugurar con las autoridades, entre otras cosas, una tabla periódica mural en Braille, lo que alguien había dejado sobre una de las vitrinas que protege "los instrumentos del pasado" que jalonan los largos

*La Tabla Periódica en Braille.*

*El alfabeto Braille.*

*Braille: un prodigio de eficacia.*

pasillos del Centro, encerrados en vitrinas, a falta de una explicación sobre la utilidad que prestaron cuando estaban en activo. La cuartilla contenía el alfabeto del Sistema Braille. La primera imagen que me asaltó fue recordar que hace unos quince años tuve como alumno a un estudiante vasco que asistió al curso de doctorado interuniversitario en el que participan unas 20 Universidades españolas y hasta 40 Universidades europeas, sobre Química Teórica y Computacional y este alumno era ciego. Reconozco que no estamos preparados para impartir docencia a alumnos con discapacidad visual. Son tal cantidad de elementos los que ignoramos, que bien haríamos en aprender a conducir una sesión docente para ellos. Recuperado del primer recuerdo, acaricié entre mis manos la cuartilla que contenía la clave con la que la información del mural estaba confeccionado. La examiné con atención. La había visto algunas veces, pero nunca con la profundidad con la que ahora la examinaba. Es un prodigio de eficacia. Es un sistema que utiliza una matriz de unas dimensiones determinadas (celdillas) de unos 5 mm de alto por 2.5 mm de ancho. Las celdillas están colocadas a 6.30 mm entre ellas y la vertical de las líneas es de unos 10.20 mm. Nada es caprichoso, estas dimensiones son las que caben (tiene alcance) en la yema de un dedo. Cada letra se representa en una de estas celdillas que tiene 6 puntos con potencial relieve. Es decir, una matriz de 3x2 va a contener las variaciones posibles de dos elementos (relieve o no) con repetición, tomadas de dos en dos, por tanto  $2^6 = 64$  combinaciones disponibles para representar 48 caracteres, incluyendo mayúsculas, minúsculas, dígitos del 0 al 9 y signos especiales. La economía del Sistema Braille es exquisita y un mismo signo braille puede signi-

ficar cosas distintas, según el contexto donde lo utilicemos. De no ser así, un alfabeto con mayúsculas y minúsculas, dígitos y signos especiales, supera ampliamente 64. Dicho sea de paso, esto es lo que ocurrió cuando se diseñó el sistema de codificación ASCII que acabó incluyendo 8 bits (un byte) para codificar un carácter, de modo que los posibles caracteres a representar podían extenderse hasta 256 (variaciones con repetición de dos elementos, en este caso 0 y 1, tomados de 8 en ocho, es decir  $2^8 = 256$ ). de este modo se puede incluir el alfabeto occidental y el hiragana (unos 100 caracteres) o el Katakana (más de 80 caracteres), también se podían codificar en un byte. También en el proceso de gestación del Sistema Braille, pasó por considerar matrices de ocho puntos, es decir cuatro filas y dos columnas. Finalmente, en aras de la simplicidad se redujo a los 3x2 iniciales. Hay un signo que indica que lo que viene a continuación son números, y hay otro que indica que son mayúsculas, de forma que se pueden reutilizar algunos de los códigos, según el contexto. Hay también una celda, para indicar el espacio en blanco. Cada letra se representa mediante una combinación de puntos en relieve. Al comenzar a escribir se emplean dos espacios en blanco y entre párrafo y párrafo es conveniente dejar un renglón en blanco. Lo mismo que se hace cuando se escribe en tinta.

*El sistema de codificación ASCII.*

Lo que me subyugaba de la cuestión era la lógica subyacente. Nada obvia. No se trata de suponer, por simplicidad, que se aplica la memoria y ya está. Evidentemente que hay que memorizar, pero hay que aprender a hacerlo. El principio ordenador es necesario. En una máquina de escribir, hoy teclado de ordenador, los tipos no ocupan cualquier lugar,

*El principio ordenador en el Braille.*

*Distribución de las teclas en los teclados: alternativas.*

al azar. Observemos que el teclado, que se denomina qwerty, es, precisamente porque los seis primeros tipos de la línea superior del teclado son esos caracteres. Hay otros teclados, aunque se haya impuesto aquél, como el azerty, usual en los países francófonos, por ejemplo. Entre ambos tienen intercambiadas las letras A y Q, Z y W, además de que la M no está a la derecha de la N, sino a la derecha de la L y no incluyen la Ñ, sino un punto y coma. Hubieron otros, como el HCESAR, implantado en Portugal en la época de Oliveira Salazar o el Teclado Dvorak. La razón de estas alternativas, radica en que en cada idioma la frecuencia con la que se emplean los distintos caracteres varía de una lengua a otra y la contigüidad de los tipos tiene que ver con la probabilidad de que dos caracteres pueden presentarse contiguos en las palabras de cada idioma. Algo conocemos los españoles de tales cosas, cuando hoy ya algo superado, pero durante mucho tiempo tuvimos que conformarnos con suprimir la ñ, que es genuina del idioma español, y escribir y leer una n en su lugar, porque los teclados nunca fueron españoles. Hoy de hecho son adaptaciones de software las que siguen operando para que la ñ figure en nuestros escritos. Por cierto, como Braille era francés, la ñ no la incluía tampoco.

*La matriz de Braille.*

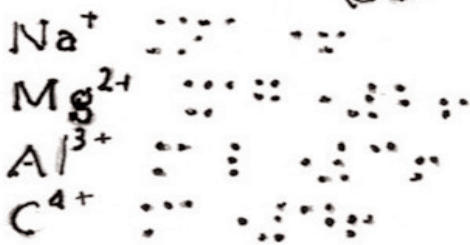
Las diez primeras letras solamente incluyen los cuatro puntos superiores de la matriz (B de Braille  $B = \begin{pmatrix} (b_{11}@b_{21}@b_{31}) \\ (b_{12}@b_{22}@b_{32}) \end{pmatrix}$ ), y sus elementos  $b_{ij}$  (elementos  $b_{11}$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{21}$  y  $b_{22}$ ). Con estas combinaciones cubrimos desde la letra a hasta la j. Desde la k a la t, otras diez letras, añaden el punto  $a_{31}$ , a las correspondientes del primer grupo de diez. Así, entre la a y la k solamente hay la diferencia del relieve  $b_{31}$ . Entre la t y la

j, por idénticas razones, ocurre lo mismo. La tercera serie acaba el alfabeto, incluyendo desde la u hasta la z y los caracteres siguientes incluyen la c con cedilla, el signo generador (todos los puntos en relieve), la a con acento, e con acento y u con acento. La cuarta serie es parte de la primera serie añadiendo en relieve el punto 23, es decir la g, h y i, para asignarla a ñ, u con diéresis y w. Finalmente, la quinta y última serie son los signos de la primera utilizando en lugar del relieve de las dos primeras filas, los de las dos de abajo. Así se incluyen la coma, el punto y coma, etcétera. Las vocales con acentos y otros signos de interés como: guión, paréntesis etc. completan el sistema. Los signos complementarios antepuestos convierten las letras en mayúsculas y números. Así, se pueden expresar textos, números de distintas cifras o utilizar signos matemáticos, la arroba o el signo del euro, que son los de más reciente creación. Hay organismos internacionales que consensuan y aplican universalmente los cambios y novedades del sistema.

*Se incluyen signos complementarios..*

El Sistema Braille soporta un lenguaje y una experimentación táctil basados en una percepción analítica de los estímulos. El Sistema en funcionamiento precisa favorecer el aprendizaje con explicaciones orales, dado que la lectura es casi letra a letra, ya que el tacto no admite otra forma. Es un mundo fascinante. Un sistema digno de elogiar por la labor que permite llevar a cabo. Me cautivó la lógica subyacente que no es nada obvia a primera vista. Es una realidad que merece la pena mirarla con la lupa del entusiasmo por las cosas bien hechas. ¡Cuánto hay que aprender y cuanto de ello está bien cerca de nosotros! La mirada nos lo desvela cuando es atenta.

*Percepción analítica de estímulos.*



*M. Requena*

## TRAZO 1.12

## Capturando la imagen

En la segunda mitad del siglo XVI vivió en Nápoles un físico llamado Giambattista della Porta. Debido al calor que hacía un determinado día, procedió a cerrar las ventanas de la estancia, dejándola casi totalmente a oscuras. Cuando se acostó y dirigió la mirada a la parte trasera de la habitación vio una escena de la calle, gentes que iban y venían por la pared, como si fueran reales, solamente que boca abajo. De niño, ciertamente, disfrute de escenas similares, cuando obligado por alguna dolencia circunstancial, tenía que permanecer en cama. Mundo maravilloso, en que las sombras se mueven por la pared, como si se tratara de una proyección sobre la misma. Es frecuente que, en estas condiciones se visualice un rayo de luz que se cuele por un orificio circular, conteniendo la información que se plasma en la pared. Porta construyó una cámara oscura en una caja cúbica que perforó en la parte delantera y fijó en la parte posterior, por dentro, un papel. El resultado, ahora en pequeño, fue igual que el de la pared, en grande. Ensayó toda suerte de modificaciones, desde el tamaño del orificio, situó un cristal delustrado en la parte trasera y ya ideó un dispositivo para situar la placa en el foco de la lente que situó en el orificio de entrada de la luz. Todo su esfuerzo fue encaminado a fijar la imagen que se formaba. No solo él, sino muchos otros trabajaron sin éxito durante mucho tiempo, dos siglos y medio, nada menos. Antes se descubrieron la máquina de vapor y la electricidad.

*Maravilloso mundo de las sombras que reflejan la vida.*

*Dos siglos y medio haciendo experimentos.*

Siempre se ignoró que en 1727 Schulze ya había estudiado la sensibilidad lumínica de las

*Schuke ya estudió en 1727 la sensibilidad de las sales de plata.*

*Daguerre consiguió fijar la proyección luminosa de la cámara oscura..*

*La luz elimina el iodo combinado con la plata.*

sales de plata. En enero de 1830, en la Academia de Ciencias de Francia, Arago presentó al inventor francés Daguerre, remontándose a los tiempos de la revolución cuando Charles aprovechó la sensibilidad del nitrato de plata para fijar mediante la luz, siluetas de bustos humanos. Charles no dejó nada escrito. Davy, siguiendo los ensayos de Charles, junto a su colaborador Wedgwood, intentaron fijar la proyección luminosa de la cámara oscura en un cartón impregnado de nitrato de plata, aunque sin éxito. Daguerre lo consiguió. Una placa de cobre, plateada, bajo una luz débil, la sometía a vapores de iodo, hasta adquirir una tonalidad amarilla. Esta placa iodada era la que situaba en la cámara oscura, ofreciendo a la lente la cara que contenía la capa de iodo y plata- El obturador está cerrado y se dirige la lente hacia el objeto que queremos registrar. Al quitar el cobertor de la lente se expone la placa a la imagen incidente entre diez y veinte minutos, según la luminosidad del día. Al principio la cara de la placa expuesta no presenta alteración alguna, pero al someterla a vapor de mercurio se va positivando poco a poco la imagen del objeto capturado. La placa se fija en una disolución de sal común hasta lograr que no sufra alteración por la luz artificial. La explicación del proceso es que la luz incidente elimina el iodo que está combinado con la plata y en el lugar en que estaba, aparece la plata metálica, en función de la intensidad de la iluminación. Esta plata forma con los vapores de mercurio amalgama de plata blanca. En los lugares en que ha recibido poca iluminación persiste el ioduro de plata que resulta inalterado bajo la acción del mercurio. El ioduro se elimina tras el procesado con un baño de una disolución caliente de sal común, descubriendo el fondo oscuro de la placa.



A instancias de Arago, la Academia de Ciencias patrocinó una moción que proponía conceder a Daguerre una pensión de 6.000 francos a título de compensación. Lo lograron y cedió el invento al dominio público en 1839, salvo que mantuvo para él la construcción de la cámara y los accesorios. Casi simultáneamente a la presentación en Paris, la Royal Society recibió una monografía en Londres firmada por Talbot. También había estudiado la fijación de las imágenes en una cámara oscura. El si partió de los experimentos de Schulze con el nitrato de plata y conoció los trabajos de Wedgwood y Davy, pero no compartió la propuesta de éste último de que el yoduro de plata era más sensible a la luz que el cloruro de plata, pero sus ensayos le llevaron a concluir que el bromuro de plata era más sensible que las otras sales de plata. Con una hoja de papel empapada en bromuro de plata obtuvo una imagen negativa. La fijó y la secó y la trató con cera para hacer más translúcidas las partes claras. Debajo de esta placa negativa puso una segunda hoja bromurada tensada en un bastidor y las expuso a la luz solar obteniendo una imagen positiva. De esta forma de una imagen negativa podía obtener muchas positivas. Talbot conoció que el mismo día que presentó su informe en la Royal Society, Arago presentó en la Academia francesa el procedimiento de Daguerre, pero se guardó el secreto de la fijación y solo comunicó que para ello empleaba una disolución de sal común y luego una de prusiato amarillo (ferrocianuro potásico)- Aunque poco después desveló que el fijador era tiosulfato de sodio. El nacionalismo imperante hizo que la Academia Francesa, no atendiera la reclamación de Talbot y pensó que era una tentativa de hacer prevalecer la priori-

*Daguerre cedió su invento al dominio público en 1839.*

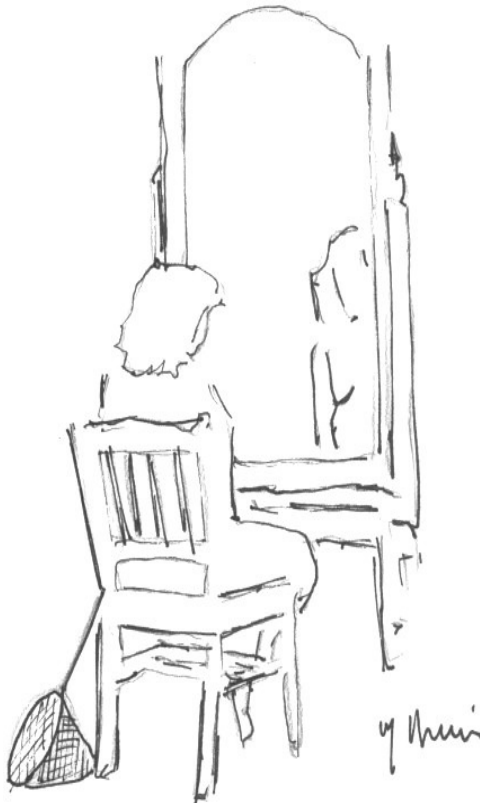
*Talbot presentó en la Royal Society como obtener imágenes negativas y positivarlas.*

*La Academia francesa no admitió la reclamación de Talbot.*

*El primer estudio fotográfico se inauguró en Berlín en 1839.*

dad de su invento sobre el de Daguerre. Se dejó caer el ofrecimiento. En cambio, Daguerre utilizó la propuesta del tiosulfato de sodio para obtener unas imágenes en sus placas de cobre, inalterables a la luz.

Se cifra en 1839 y en Berlín, la inauguración del primer estudio fotográfico. El daguerrotipo se popularizó. Permanecer una hora inmóvil a pleno sol, delante de la cámara, era una servidumbre difícil de superar. La primera grabación de un rostro humano se sitúa en Nueva York. En 1840 Petzval reparó que la óptica perfeccionaba el dispositivo si consistía en situar unos cristales de anteojos y dejaron de ser cristales de ventana. Logró un juego de objetivos dieciséis veces más luminoso que la lente de Daguerre, con lo que el enorme tiempo (más de media hora, entonces) quedó reducido a quince segundos, tan sólo. Nació la fotografía del retrato. Los contornos fueron nítidos, aunque ni el blanco ni el negro lo eran. Un poco grises, pero los retratos iniciaron su andadura. La imagen quedaba, razonablemente capurada para la posteridad.



## Cerebros incipientes

Se suele decir que el cerebro es la cosa más compleja del Universo. Todo lo relacionado con este órgano humano va revestido de un halo de misterio, quizás fruto de la gran ignorancia sobre él, tanto a nivel popular como científico, en gran medida. Sus disfunciones tienen una connotación entre respetuosa y rechazable al otorgarle la responsabilidad de las manifestaciones conductuales y definitorias del perfil de la persona. Nunca ha visto la Humanidad a las enfermedades propias del cerebro, en pie de igualdad a cualquier otra dolencia. La investigación sobre el cerebro siempre ha tenido la limitación de las reservas sociales que han puesto coto a la pesquisa in vivo, razonablemente, desde luego, pero sin duda ha dificultado el avance en el conocimiento del mismo. La alternativa ha sido el estudio en animales, con la seria dificultad de que la similitud es muy baja y las conclusiones nunca gozan del debido respaldo empírico, habida cuenta las diferencias entre uno y otro cerebro.

En este estado de cosas, se puede afirmar que se mantiene la ignorancia elevada sobre el cerebro y su funcionamiento. Ahora se abre una vía alternativa prometedora para estudiarlo de forma más realista. Madeline Lancaster es una bióloga celular del laboratorio MRC de Biología Molecular en Cambridge y ha desarrollado una técnica que permite crear mini cerebros a partir de cultivos celulares. Sus órganos creados, que tienen un tamaño de unos tres milímetros cúbicos, no mayor que la punta de arriba de un lápiz o bolígrafo, permiten llevar a

*El cerebro es la cosa más compleja del Universo.*

*Una vía alternativa para estudiar el cerebro de forma realista.*

*Madeleine Lancaster genera tejidos cerebrales con capacidad de autoorganizarse.*

cabo estudios sobre el cerebro humano en las primeras etapas de desarrollo. Tras muchos experimentos con células madre neuronales, dio con un procedimiento de cultivo de células en 3D, generando unos tejidos cerebrales con capacidad de autoorganización. Había logrado cultivar tejidos neuronales complejos a partir de células madre pluripotenciales. Por primera vez, usando estos mini-cerebros, que son equivalentes a un cerebro embrionario de unas nueve semanas, se podrían recrear las estructuras, como el córtex cerebral o la retina o el hipocampo y el plexo coroideo que son unos órganos del sistema nervioso central que secretan el líquido cefalorraquídeo que baña una gran parte del sistema nervioso central.

*Ahora es posible estudiar algunas enfermedades cuya raíz se desconoce.*

Es posible ahora desentrañar la raíz de algunas enfermedades, como la microcefalia que, teniendo raíz genética, tiene como resultado un individuo que tiene un cerebro demasiado pequeño. Lancaster ha concluido que la enfermedad está provocada porque las células madre neuronales desconectan los mecanismos de producción de neuronas al agotar tempranamente su capacidad, generando pocas neuronas y dando, como consecuencia, un cerebro pequeño.

*Las células de los animales, no necesariamente se comportan como las humanas.*

El cerebro humano tiene una enorme cantidad de posibilidades de desarrollo que resultan muy difíciles de estudiar por los métodos convencionales. Lancaster puntualiza que la esquizofrenia o el autismo, por ejemplo, resultan muy complicadas de estudiar en un ratón. La razón no es, solamente, la diferencia entre el número de células madre de uno y otro, sino que el comportamiento de las células madre humanas es muy distinto del de las células madre del ratón. El panorama cambia desde la

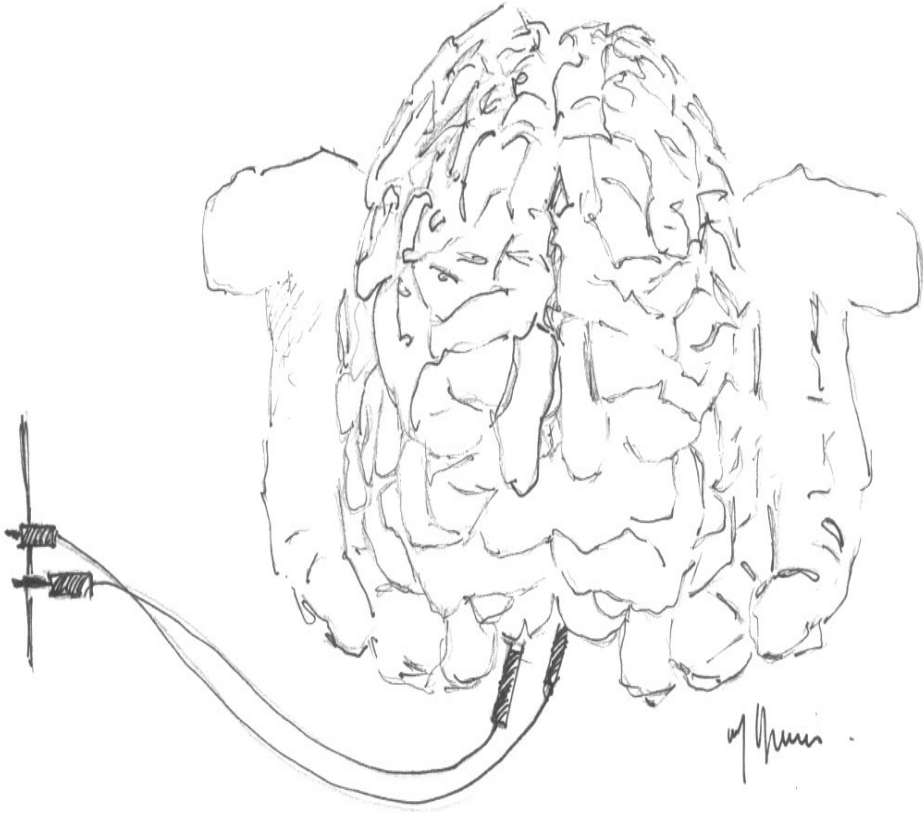
aportación de construcción de "minicerebros". Sorprendentemente han sido muchos los investigadores que han buscado este tipo de solución, sin tener la fortuna de dar con la clave para lograrlo. Sorprendentemente los tejidos que ha logrado Lancaster, se pueden desarrollar por sí mismos con escasa intervención externa. Solamente hay que dar soporte a las células y mantener los tejidos saludablemente con la combinación apropiada de nutrientes, con lo que esos tejidos cerebrales se construyen ellos solos, esencialmente.

*Los cerebros que crea Lancaster se pueden desarrollar por sí mismos, solamente aportando nutrientes.*

Se podría pensar que estamos llegando al límite difícil de justificar sobrepasarlo, si no es que lo estamos ya superando. Pero, como aclara la propia investigadora en una entrevista aparecida en la publicación *Off The Bench*, este mismo año, lo que crean en el laboratorio es una pieza de tejido cerebral sin conexiones y sin conciencia. Se trata de un organoide que nunca podría alcanzar la complejidad de un cerebro porque, al margen de otras restricciones, está carente de riego sanguíneo. El oxígeno y los nutrientes llegan a los cultivos de neuronas de estos mini-cerebros por difusión, lo que limita el tamaño de estos organoides que nunca superan unos cuatro milímetros.

*Lo que crean en el laboratorio es un tejido cerebral sin conciencia y sin conexiones.*

Avanzamos, en la buena dirección. La intuición sigue siendo un arma imprescindible en la investigación. Se trata de ver de forma distinta lo que han mirado muchos otros investigadores antes y no dieron con la clave. Ese es el acierto del investigador de élite. Precisamos muchos más como Madeline Lancaster.



## TRAZO 1.14

## Ciencia en un sandwich de queso

La Ciencia es ubiqa. Estamos rodeados por todas partes de manifestaciones suyas. Afortunadamente la Humanidad avanza desentrañando secretos, descubriendo leyes y acrecentando la capacidad de predicción de fenómenos y sus resultados. Aturde la organización tan precisa que ha servido como principio de desarrollo y la complejidad que ha alcanzado. El incremento de conocimientos no es lineal, sino con una derivada enorme, probablemente exponencial. Ciertamente vivimos una época privilegiada, por cuanto los conocimientos científicos son importantes y podemos analizar gran parte de los fenómenos y procesos que nos rodean a la luz de la Ciencia.

*La unicuidad de la Ciencia.*

Una de las áreas en las que los conocimientos científicos han tenido una gran incidencia es la cocina, en todas sus formas y versiones, en todos sus preparados y presentaciones. Vamos a pasar revista a una de las páginas más frecuentes, como es la del queso que se emplea en los bocadillos (sandwichs) al someterlo a la parrilla o plancha y lograr que se derrita. Vamos a reflexionar sobre lo que ocurre, desde el punto de vista molecular, identificando las bondades que constituyen la esencia de un final perfecto y delicioso, como es disfrutar de un bocadillo o sándwich con queso fundido embadurnando su intimidad..

*Ciencia y cocina.*

Al margen de la variedad, todo comienza en la leche de partida. Su contenido de agua es de entre un 80 % y un 90%, pero además es una fuente de proteínas, como la caseína y el

*Lo estructura del queso la proporcionan las proteínas.*

*El calcio es el responsable de la interacción entre las proteínas.*

*Lo importancia de las caseínas en las características reológicas y organolépticas.*

suero; de carbohidratos, como la lactosa y de minerales, especialmente calcio. Junto con la grasa de la leche estos compuestos son los componentes esenciales de la leche. La estructura del queso la proporcionan las proteínas y lo hacen de forma que retienen la grasa y una pequeña cantidad de humedad, desprendiendo la mayor parte del agua. La lactosa es un medio especialmente fértil para el crecimiento de las bacterias, que son las que generan el "flavor" de las distintas variedades de queso. Finalmente, el calcio que puede estar en una concentración en torno a 1.2 gramos por litro, es el responsable de la interacción entre las proteínas, que son las que concretan las características de suavidad, de fusión y de amoldarse, propias del queso caliente que se produce cuando un sándwich, que lo contenga, se somete a la parrilla, la plancha o el grill.

Previamente a que la leche se haya convertido en queso, las distintas proteínas de la caseína, que es un conjunto heterogéneo de ellas, que tienen en común que precipitan cuando el medio tiene un pH de 4.6, lo que le confiere el carácter de insolubles. Las distintas caseínas se clasifican según su movilidad electroforética en  $\alpha_1$ -caseína,  $\alpha_2$ -caseína,  $\beta$ -caseína y  $\kappa$ -caseína. Esta última sufre una hidrólisis enzimática provocada por la enzima quimosina (el cuajo) para generar otra proteína, la para- $\kappa$ -caseína, que cuando reacciona con el calcio forma el paracaseinato de calcio y en los procesos denominados de maduración del queso se forman las  $\gamma$ -caseínas que otorgan las características reológicas y organolépticas del queso. Estas caseínas se disponen antes de formar el queso, en micelas, que son grupos "clusters" de aquéllas que permanecen sus-



pendidas en la que se denomina fase acuosa. Estas micelas contienen hasta dos tercios del calcio total y presentan una carga negativa que evita la formación de agregados. Pero para que la leche se convierta en queso, es preciso que se agreguen las proteínas en lo que se denomina cuajada, que atrapa agua y grasa. Pero para que pueda tener lugar esto, es preciso que la carga negativa de las micelas desaparezca, lo que se puede lograr bien agregando algún ácido que neutralice la carga negativa o bien añadiendo una enzima que limpie la parte del "cluster" que contiene la carga negativa. Así, se va formando la estructura del queso. Desde que se agrega el cuajo hay que proceder a un drenaje, agregación de sal y ejercer presión sobre el cuajo, para finalmente curar dando tiempo para que la estructura se acabe de lograr.

*Los caseínas en forma de micelas contienen hasta dos tercios del calcio total.*

*Lo agregación de las proteínas en el cuajo y la eliminación de la carga negativa permite que se genere la estructura del queso.*

Para que un queso sea apropiado para usarlo como queso fundido en un sandwich, la principal característica es que funda bien. La apariencia del queso en el sandwich es de vital importancia: cuando se corta el sandwich o bocado que lo contiene debe verse el queso fundido desbordando cremosamente, rezumando de entre las lonchas del mismo. Pero hay quesos que funden mejor que otros. Ciertas variedades funden de forma homogénea, mientras que otros quedan formando grumos. Y hay que prestar atención, de nuevo, al comportamiento molecular, a las interacciones entre las moléculas, principalmente a las que tienen lugar entre la caseína y el calcio. Las proteínas caseína se mantienen unidas en las micelas, mediante los puentes que establecen los iones calcio. Pero el número de estos puentes de calcio, depende de la acidez del medio (queso). En los quesos curados, como la

*Las interacciones entre caseína y calcio, principalmente, depende de la acidez del medio.*

*La disminución de los puentes de calcio, aumenta la movilidad de las moléculas de proteína.*

*Las proteínas pueden llegar a fluir con el calor.*

*Si el pH es muy bajo, la mayor parte del calcio se solubiliza y la caseína colapsa.*

*El pH crítico está entre 5.3 y 5.5.*

mayor parte de la lactosa se ha convertido en ácido láctico, el pH ha disminuido y el queso es más ácido. Pero a su vez, este hecho origina una disminución del número de puentes de calcio que operan en las micelas de caseína y esta disminución es tanto mayor cuanto más calcio se solubiliza y se mueve de su posición entre las proteínas que atrapan agua en el interior del cuajo. La disminución de los puentes de calcio, aumenta la movilidad de las proteínas. De esta forma al romperse los puentes de calcio, las proteínas de la caseína se tornan más solubles, al perder lo que las mantiene unidas en la micela. Esto ayuda, también, a mejorar la unión con la grasa, originalmente atrapada en el queso. Así pues, cuando el queso se calienta, las moléculas de proteína pueden llegar a fluir y es cuando ofrecen una fusión elegante. Incluso todavía más, por cuanto las proteínas solubles pueden interactuar con las gotas de aceite, impidiendo que adopte un aspecto aceitoso.

Pero si el pH continúa disminuyendo entonces ocurre que la mayor parte del calcio se solubiliza y la caseína colapsa, dada su insolubilidad a bajo pH. Entonces es cuando se forma un fundido del cuajo, mientras que el aceite queda libre en el queso. Si el pH fuera demasiado elevado, entonces no se solubiliza suficiente calcio y las proteínas caseína se mantienen unidas por el gran volumen de iones calcio, resultando un queso que no funde ni fluye. El pH crítico está en torno a 5.3 a 5.5, dependiendo de cómo se ha elaborado el queso. Hay que decir que, en general, las diferentes proteínas estabilizan sus interacciones en este rango de pH, como apunta Kimmel en un excelente artículo sobre el tema.

El queso manchego tiene excelentes propiedades de fusión y las interacciones de las proteínas establecen un pH al que se logra la solubilización tanto del calcio como de las proteínas solubles, y la masa final funde y fluye cuando se le calienta manteniendo la grasa atrapada en la matriz resultante tras calentarlo. Hay quesos cuyo pH cambia sustancialmente de frescos a curados. Por ejemplo, el Cheddar mientras es fresco funde uniformemente, manteniendo la grasa en la matriz, pero cuando es curado, como su pH es muy bajo, muy ácido, funde haciendo grumos y liberando la grasa.

*Hay quesos que cambian el pH de frescos a curados.*

Generalmente, en el procesado del queso se usa sal para lograr disminuir los puentes de calcio, con los que se unen y lo restan a las micelas. Normalmente son sales citrato y fosfato. Se procesa, por tanto, con estas sales, lo que hace disminuir los puentes de calcio con lo que se provoca el aumento del pH. Algo parecido acontece cuando se agrega vino, ya que el ácido tartárico del vino se une al calcio, alterando los puentes de calcio del proceso. El resultado final consiste en una mezcla de proteínas, agua y grasa que cuando son calentadas producen una suave capa cremosa que embadurna el bocadillo "sándwich" por dentro, cuando se pone a la plancha o sobre el pan tostado.

*Al agregar vino, el ácido tartárico retira el calcio alterando los puentes y las proteínas libres se mezclan con el agua y la grasa y producen una capa cremosa..*

La reflexión que induce una descripción como ésta es que ha tenido que avanzar mucho el conocimiento para tener una explicación cabal del proceso que hemos abordado. Con muchas otras cosas pasa lo mismo. Si hubiéramos tenido que esperar hasta acumular los conocimientos suficientes para tener una descripción de la intimidad de los procesos que alberga, mientras tanto no hubiéramos podido disfrutar de la degustación de un buen sándwich que encierra

*Importancia del trabajo empírico.*

queso fundido. Los avances, sin el conocimiento empírico, hubieran sido tremendamente lentos y tortuosos. Menos mal que el trabajo empírico ha ido permitiendo, con mucho trabajo, muchas pruebas de ensayo y error y la paciencia del investigador-observador que anota todo cuanto ocurre, para poder sugerir mejoras en el procedimiento. Sólo así hemos desmontado muchas de las cosas que disfrutamos mucho antes de comprender la intimidad de cuanto hacíamos. Ciertamente, conocer las interioridades de los procesos provoca el placer de disfrutar del conocimiento, controlar los procesos y mejorar los resultados. Todo es Ciencia, el empirismo y la teorización. Es lo que nos permite avanzar. Sin ella estaríamos atrapados en el pasado. Hoy podemos disfrutar de un bocadillo o sándwich que encierra queso fundido, pero además de saborearlo, podemos conocer que es lo que pasa y como mejorarlo. Es la Ciencia estimado lector, es la Ciencia.



## Ciencia poética

El uso de los símbolos y las metáforas para explicar conceptos intrincados, como suelen ser los científicos, implica una habilidad, no siempre disfrutada por las gentes que se dedican a la Ciencia. En realidad sólo los manejan apropiadamente los auténticos genios.

El autor de Crónicas de Narnia, C.S. Lewis, distinguía entre la poesía magistral, y la popular. La primera la asignaba al lenguaje metafórico y poético que usan los científicos para explicarnos algo que ya conocemos. La segunda la adscribe a las imágenes poéticas que los científicos emplean para ayudarse en sus propios pensamientos. Este último es el más común. Buen ejemplo de ello son las denominadas "líneas de fuerza" con las que Faraday imaginaba que actuaban las fuerzas magnéticas, como si se tratara de materiales elásticos bajo tensión, capaces y dispuestas a liberar su energía. Fue clave para comprender el electromagnetismo.

*Poesía magistral y popular de Lewis.*

Son muchos los ejemplos que se podían recordar. Dawking cita a Monod, biólogo molecular francés que decía incrementar su intuición química imaginando lo que sentiría el electrón en un enlace molecular concreto. Ciertamente, los electrones y la luz se han imaginado, a menudo, como esforzadas entidades que irremediablemente pretenden minimizar su tiempo de viaje. Einstein, cuando era adolescente, imaginó qué ocurriría si viajase a lomos de la luz yendo desde el reloj de la estación hasta sus propios ojos, concluyendo que todo quedaría detenido en el tiempo. Esta imagen quedó

*Intuición e imaginación.*

inmortalizada en el posterior axioma de la constancia de la velocidad de la luz, situado en el frontispicio de las teorías de la relatividad. Kekulé imaginó soñando el anillo del benceno en forma de serpiente que se devora a si misma por la cola.

*No siempre han sido imágenes acertadas las que se han empleado.*

No siempre han sido imágenes acertadas las que se han empleado. Los canales de Marte como estructura de irrigación fabricada por inteligencias marcianas, con las que el prestigioso astrónomo Percival Lowell en 1908 concluía la propuesta de los surcos que en 1877 observara el astrónomo italiano Schiaparelli, no son más que fruto de la imaginación desbordante y un efecto óptico producido por las imperfecciones inevitables de las lentes de los telescopios. Hay que decir en descargo de Lowell, que su audacia permitió descubrir Plutón, a partir de las imperfecciones de la órbita de Neptuno. Los últimos ocho años de vida los dedicó, con especial interés, a redimir su imagen pública, dañada por la propuesta de los canales de Marte.

*En tiempo reciente multitud de propuestas disparatadas han invadido la cultura popular.*

En tiempo reciente, la teoría del caos, la complejidad, la no linealidad, la consciencia cuántica, la teoría de las catástrofes, la incertidumbre y, en general, todo lo relacionado con la relatividad y la teoría cuántica, han sido objeto de relatos, analogías, metáforas y similitudes, deplorables, que han invadido la cultura popular con imágenes muy distorsionados y alejadas de una genuina concepción. Se abusa de todo aquello que resulta ser contraintuitivo. Se ha llegado a publicar hasta un libro sobre "curación cuántica". "psicología cuántica", "moral cuántica", "responsabilidad cuántica" y ¡como no!, "teología cuántica".

La Ciencia trata de encontrar las reglas, leyes, que rigen la Naturaleza. La Cuántica estudia la Naturaleza a escalas muy pequeñas. Todo indica que funciona estupendamente, dado que sus predicciones acaban verificándose. Lo especial que caracteriza a la Cuántica es el carácter contraintuitivo y desafiante al sentido común. Resulta extraña, incluso al lenguaje usual, ya que emplea con profusión un lenguaje basado en las matemáticas, que requiere entrenamiento. El mismo Einstein opuso su opinión toda su vida, pese a haber jugado un papel decisivo en sus comienzos. Ciertamente, las predicciones de la Cuántica se han verificado una y otra vez. El mundo resulta ser distinto, una vez estudiada la Cuántica, pese a que conocerla resulta complicado, dada nuestra naturaleza macroscópica que nos aleja de la comprensión de la conducta de las partículas propias del ámbito microscópico. Así, no concebimos lanzarnos contra una pared y pasar de uno al otro lado, salvo que apelemos a la magia. Sin embargo, los electrones lo hacen constantemente, efecto túnel, tan real como que un microscopio contemporáneo usa este principio. Bohr opinaba que "si la Física Cuántica no te impacta, entonces no la entiendes", a lo que Feynman agregó que "nadie entiende la Física Cuántica". Ciertamente, en sus aspectos fundamentales se sigue investigando para desentrañar sus intimidades.

*La Cuántica es  
contraintuitiva,  
pero todas sus  
predicciones se  
cumplen.*

*Feynman: "nadie  
entiende la  
Física Cuántica".*

Sentado esto, esbochemos lo que no es, alejándonos de la charlatanería abundante que nos acosa por todas partes. Es común en este ámbito, emplear términos complicados con la finalidad de que no se cuestionen los enunciados. Los términos: energía, campos, vibraciones, frecuencias, resonancias, etc, no son conocidos por la gente, porque no forman



*Los sistemas educativos en vigor procuran descartar la interinterrogación.*

parte del léxico habitual. Pero, solamente por utilizar estos términos, el que nos habla no es ningún experto, ni mucho menos. Realmente, nuestra cultura y nuestra educación es más proclive a aprender conceptos que a cuestionarlos. Muy pronto olvidamos la constante interrogación, ¿ por qué? Los sistemas educativos en vigor procuran descartar la interrogación en pro de la autoridad del enseñante (menoscabada por muchos otros elementos concomitantes), sin valorar la tremenda pérdida que supone el descarte de la interrogación, como motor e inductor del conocimiento y más firme garante del asombro inicial que precisa todo descubrimiento.

*La cuestión es que no sólo se trata de usar el lenguaje científico fuera de contexto.*

Resulta sorprendente que en los medios de comunicación aparezcan con demasiada frecuencia gentes, a título de "expertos" que cuestionan o formulan ideas complicadas, no entendibles por el público en general, que emplean términos científicos, pero fuera de contexto, embebidos en palabrería que da origen a disciplinas imaginarias como las que hemos citado. Auténticos fraudes para el público desinformado. Cualquiera tiene derecho a creer en cosas sin sentido, faltaría más, otra cosa es el abuso por parte de quien trata de instalar falacias aprovechando la ignorancia de la gente, en especial cuando afectan a cuestiones tan sensibles como la educación o ¡qué decir de cuando inciden en la salud! La cuestión es que no solo se trata de usar el lenguaje científico fuera de contexto, sino que la pretensión es el engaño y la desinformación, para vender un producto: un auténtico fraude. Los implicados no son solo los que venden algo de forma directa, sino también aquellos que expanden y divulgan "disciplinas" pseudocientíficas, que apoyan y constituyen las referen-



cias de quienes venderán productos de forma directa.

No solo la homeopatía cae en este infernal saco. Emplear los conceptos de cuántica para hablar del alma, la salud o la conexión de nuestro cuerpo con el Universo son formas elaboradas de fraude científico de la misma categoría que suponer que la dilución infinita de un compuesto semejante al que produce nuestra dolencia, hace retener en una "memoria" próxima a la cósmica, radicada en el agua, los principios que nos sanarán y liberarán de nuestros males. Pese a lo burdo del planteamiento, estos engaños tienen miles de seguidores y los "gurús" siguen dando charlas y vendiendo libros como pipas y su popularidad no decrece, pese a las muchas denuncias sensatas que se han formulado sobre los charlatanes. Empleando "términos científicos" confunden a la audiencia y hacen creer que tienen una sólida base científica sobre la que apoyar su tratamiento alternativo, que no tienen ningún problema en argumentar que la mejoría de una enfermedad llegará, dado que las "energías se balancean" mediante la Física Cuántica. No dudarán en emplear referencias de libros y publicaciones como apoyo para la credibilidad del engaño, pese a que los conceptos y las citas estén fuera de contexto.

*Empleando "términos científicos" confunden a la audiencia.*

Es cierto que la mente humana parece estar especialmente diseñada para aceptar el pensamiento mágico. La imaginación desbordante de los mundos mágicos, tiene la contrapartida de convertirnos en presas fáciles para el engaño. Establecemos relaciones mágicas con extrema facilidad. Como diría David Hume, primero en formular la relación entre causa y efecto y atribuirla a la costumbre de los huma-

*La mente humana parece estar diseñada para aceptar el pensamiento mágico.*

*Las hipótesis causa-efecto, las establecemos con gran facilidad.*

nos en establecer esa relación. Las hipótesis de causa-efecto, las establecemos con gran facilidad. Si una persona mejora, sin atención médica, los milagros irrumpen en el escenario de inmediato. Las medicinas alternativas: homeopatía y terapias varias se imponen en lugar de pensar que el diagnóstico médico pudo fallar y que la persona realmente pudo no tener nunca tal dolencia. Seguramente, si las medicinas alternativas fueran tales, dejarían de ser alternativas.

*En la disparatadamente llamada medicina cuántica se postula que el alma se conecta con el Universo...*

En la esfera de la alternativa "medicina cuántica" se postula que el alma se conecta con el Universo y, mediante técnicas propias de la Física Cuántica, se restablece la salud y el bienestar. Libros y publicaciones no tienen problema en implicar a la energía oscura, o la denominada energía sutil y dicen establecer conexión entre la frecuencia de vibración del cuerpo con el Cosmos, derivando el bienestar, ante el desequilibrio físico o psicológico que padezcamos.

*El cuerpo humano es un reactor que no tiene que ver con la magia.*

Tenemos claro que el cuerpo humano es un multireactor que armoniza una cantidad ingente de procesos químicos que suponen consumo e intercambio de energía, que no tiene nada que ver con la energía sutil ni mágica, ni cósmica. No hay nada, aparentemente extraño en ello. Unos pocos átomos fueron creados como consecuencia de la gran explosión que originó el Universo, el Big Bang y otros se generaron posteriormente en las estrellas. Que seamos polvo de estrellas no implica que estemos conectados directamente con ellas. El que el Universo sea una totalidad, no implica en modo alguno que los remedios para restablecer la armonía en algún ser vivo, involucren a todo el Cosmos. Que el todo no sea la suma de

las partes, tampoco autoriza a que tengamos que hacer intervenir a las estrellas para establecer nuestros designios. Probablemente, no sea tan difícil desvelar a los charlatanes, si les pedimos que expliquen cómo funcionan sus productos en términos comprensibles, lo que supone que tienen que aclarar lo que significan las términos que emplean en su explicación. Recuerdo, como anécdota, que recientemente fui a una Farmacia, con la pretensión de adquirir algún desinfectante para la garganta, creo recordar, y no tenía en existencia, sino que sin mas remedio tenía que pedirlo a la Hermandad Farmacéutica (no sé si con la crisis, hoy las oficinas de Farmacia son meras sucursales de la citada Hermandad), ante lo que manifesté mi decepción por tener que esperar más tiempo del aconsejable para adquirir el producto. Ante la contrariedad, la farmacéutica me ofreció un producto homeopático que tenía en una estantería que ocupaba la parte central del local. Ante tal despropósito, inquirí a la profesional ¿Cómo puede ser que una persona con carrera universitaria como Usted puede ofrecerme tal cosa? La contestación fue letal : la gente me lo compra. Sin más.

*No es difícil desvelar a los charlatanes, si se les pide explicaciones..*

Los avances superlativos que hemos dado como Humanidad, gracias a la Ciencia han caracterizado el progreso, el desarrollo tecnológico, el avance en la educación (muy mejorable, sin embargo), el incremento de la esperanza de vida y un largo etcétera. La ignorancia supone malgastar recursos y poner en manos de desaprensivos el enriquecimiento. Precisamos vivir informados.

*Los avances de la Humanidad gracias a la Ciencia, han caracterizado el progreso.*



A Requena

## Ciencia y tecnología en el siglo XIX

En otro momento, hemos reflexionado acerca de la belleza del descubrimiento y como acontece la creación científica, en especial en esa etapa que es obra de soledad. Dado que la persona es convivencial, su proceso de descubrimiento no finaliza hasta que comunica su descubrimiento, hasta que lo comparte con los demás. Cuando esto ha tenido lugar, si la ocurrencia inicial, materializada en invento y presentada como novedad, aporta algo sustancial que mejora el bienestar de la Humanidad, entonces llega a ser una innovación. Siguiendo esta secuencia, mientras que la ocurrencia puede ser obra de soledad y su materialización en invento también puede serlo, una vez que empieza a contrastarse como novedad comienza a pertenecer al escenario colectivo y, desde luego, la culminación del hecho convivencial tiene lugar en cuanto se aprecia que pertenece a la categoría de innovación.

*El proceso de descubrimiento no finaliza hasta que se comunica.*

En las primeras etapas, increíblemente, muchas iniciativas pueden coincidir en áreas diferentes e incluso en el mismo ámbito. Suele haber un condicionante común y es el nivel del pensamiento humano y las necesidades en un momento histórico. Incluso las coincidencias accidentales son fruto de una similar interpretación de los acontecimientos. Tomemos como ejemplo los acontecimientos científicos y técnicos de mediados del siglo XIX en Alemania y en Francia e Inglaterra. En los últimos cincuenta años, Alemania no había dedicado atención al desarrollo de técnicas importantes.

*Suele haber un condicionante común.*

*Los mercados europeos del acero en plena ebullición.*

Históricamente, diríamos que la misión de Alemania fue la de sujetar al enemigo mortal de Inglaterra, Napoleón Bonaparte, en el continente europeo. Ello supuso que Inglaterra ganó los mercados, como ahora se dice, incluyendo hasta los propios alemanes. El acero se importaba de Inglaterra, hasta que Krupp decidió fabricarlo y competir en calidad con el acero inglés, comprobando que la calidad no era la cualidad decisiva en el mercado. El acero inglés llegaba sin aranceles y los productos alemanes tenían aduanas por doquier, siendo más limitantes que lo fuera Napoleón y sus incursiones. Alemania tenía unos 12 altos hornos, mientras que Inglaterra contaba con miles de ellos.

*La desventaja alemana cambió de signo con la incursión de Bunsen que trató el tema de los altos hornos, desde la Ciencia.*

Recuperar la distancia perdida era obra titánica. Surgió el genio de Bunsen que convirtió el tratamiento de los altos hornos, hasta entonces fruto de la experiencia, en una cuestión de Ciencia. Dispone de método y comprueba que el dióxido de carbono gaseoso que se produce se consume estérilmente en forma de ácido carbónico. Se pierde un 75% del calor del horno. Se acaba de dar con una fuente grandiosa de energía. Bunsen conducía los gases de escape por el horno, insuflando desde abajo con un fuelle, disminuyendo los penachos de fuego de las chimeneas y haciendo el proceso más eficaz.

*Ohm era un científico muy singular.*

Al tiempo, en Nüremberg vivía un maestro de Matemáticas y Física, Ohm. Era un personaje singular. Renunció a su cargo docente y solo investigaba, mientras disponía de recursos y cuando los agotaba, volvía temporalmente al trabajo de enseñante. Investigaba durante años la relación entre intensidad, tensión y resistencia de un conductor eléctrico. Concluía

que un conductor más delgado, ofrecía más resistencia al paso de la corriente. Indujo corriente de una pila de Volta, a un alambre de plata de dos metros de longitud y consultó en un amperímetro la intensidad emergente. Dobló la resistencia del conductor y apreció que la intensidad se reducía a la mitad. La corriente era proporcional a la tensión de la fuente eléctrica e inversamente proporcional a la resistencia del conductor. Perteneció al patrimonio de la Ciencia muy posteriormente. A él no se le reconoció la importancia del descubrimiento, muy al contrario, se señalaron fallos desfavorables por doquier. Una vez lograda la cátedra de la Universidad de Munich en 1840. En cambio, recibió el reconocimiento de la Royal Society de Londres, otorgándole la medalla Copley, la más alta distinción que puede otorgar. En su celebración corrió a admirar algo descomunal como era una máquina de tren. Mirando la brillante cúpula del generador de cobre, reflexionó acerca de por que todo era inglés, la locomotora, "Made by George Stephenson" hasta el reconocimiento que le habían otorgado a él.

*Ohm no fue profeta en su tierra, tuvieron que otorgarle la medalla Copley de la Royal Society, para que se reconociera su mérito.*

Fue Borsing el que construyó dos enormes torres y solicitó en un cuartel del ejército, próximo a su instalación de Oranienburgo, unos cuantos hombres para insuflar aire en sus hornos. Posteriormente incorporó caballos y finalmente una máquina de vapor. En ese año de 1840 sale la primera máquina de ferrocarril de sus instalaciones.

*En 1840 nació la primera locomotora alemana.*







## TRAZO 1.17

## Coherencia fotosintética

Es bien sabido que la radiación láser tiene unas características muy singulares, que la hacen atractiva y convierten el efecto en una herramienta de gran alcance. Estamos ante un dispositivo de propósito general, capaz de encontrar aplicaciones en una gran cantidad de problemas, unos que han tenido solución convencional y otros que se han podido abordar gracias a él. Pero, ciertamente, su intervención en cada vez más numerosas soluciones le acreditan como una de las herramientas poderosas que la Ciencia ha sido capaz de propiciar a la tecnología.

*La radiación láser tiene unas características muy singulares.*

Monocromaticidad, linealidad, brillo y coherencia son sus signos distintivos. Con demasiado frecuencia nos quedamos en la superficie y referimos el brillo, la cantidad de energía, como su gran aportación, cuando quizás sea la menos interesante de sus propiedades. La guerra de las Galaxias o el corte de chapa de automóvil, no dejan de ser interesantes, pero no es precisamente la aplicación genuina que aporta. Hay que señalar que siendo las cuatro propiedades originales y debidas al proceso físico que genera la emisión estimulada, no lo es menos que alguna de sus propiedades hay que conseguirla creando un dispositivo apropiado. Efectivamente, en la emisión estimulada que Einstein aventuró a principios del siglo XX, proporciona un fotón igual al estimulante, con la misma dirección, frecuencia y ambos en fase. Pero hay que acomodar todos los fotones emergentes, para que lo que proporcione el dispositivo sea un haz lo más próximo a la linealidad, eliminando aquellos fotones que han sido estimulados por fotones diferentes que no

*El proceso físico inherente es la emisión estimulada.*

*Importancia del dispositivo que sustenta el proceso físico de la emisión estimulada.*

mantenían colinealidad. El brillo está impreso en el proceso de emisión estimulada, ya que introducimos un fotón y obtenemos dos, por tanto, amplificamos. Ahora bien, ¿hasta donde somos capaces de multiplicar esta amplificación? Nuevamente, el dispositivo es determinante. Hoy podemos obtener desde un dispositivo con una potencia de milésimas de watio, a potentes láseres con potencias similares a las del Sol, emulando las condiciones requeridas por la fusión nuclear. La monocromaticidad, hay que entenderla en el contexto físico, es decir, la anchura de la banda que corresponde a la radiación láser es muy estrecha y la denominamos, indebidamente, monocromática, cuando debiéramos decir: muy monocromática. Salvando esta pequeña imprecisión, la radiación láser es tan monocromática que permite desarrollar una química selectiva, bombeando las moléculas a estados energéticos seleccionados para provocar reacciones específicas a partir de esos estados. La química de estados excitados, no tiene por que responder a la química convencional del estado fundamental. Esto tiene muchas consecuencias, físicas y químicas.

*Química foto-selectiva.*

*Láseres químicos.*

Hay muchos ámbitos en los que las moléculas son protagonistas. La interpretación de los procesos puede cambiar sustancialmente en algunos casos, cuando la radiación implicada corresponde a radiación láser. No hay que pensar que el láser es un dispositivo artificial, porque el proceso se puede desencadenar de forma natural y, de hecho, sucede. Los láseres químicos son una modalidad que evidencian que la Humanidad ha convivido mucho tiempo con la emisión estimulada. Aunque es habitual que se piense que el láser es un desarrollo tecnológico, hoy se han identificado láseres de

CO<sub>2</sub> sin la intervención humana. Hay una tendencia a pensar que el equilibrio térmico es el estado estándar de la Naturaleza y que la inversión de población, imprescindible para que la acción láser acontezca, como es una condición de no equilibrio, no debiera darse de forma natural. Pero, hay casos concretos en que se da tal situación. Cerca de las nubes de gases calientes de las estrellas se pueden encontrar láseres naturales. Es la luz que procede de las estrellas la que excita a las moléculas de gas pasando a estados metaestables. En cuanto hayan niveles inferiores apropiados, se puede producir la inversión de población y la acción láser está servida. Es cierto que no es de esperar que la radiación emitida en estas nubes calientes sea colimada, sino que, más bien, se emite en todas las direcciones del espacio. Cuando se efectúa una comparación entre las intensidades de las longitudes de onda recibidas de las estrellas y las emitidas por el gas caliente usual, se identifica una inversión de población en las estrellas. Además, también se han identificado características como direccionalidad, anchura de banda espectral o polarización, que vienen a corroborar la generación de emisión láser de forma natural.

*Láseres en la Naturaleza.*

Ni que decir tiene que la descripción e interpretación teórica entra en los dominios de la mecánica cuántica. Moléculas y cuántica es un matrimonio no solo bien avenido, sino aparentemente indestructible. No importa clase, tamaño o condición de las moléculas, es la Cuántica quien las describe y permite estudiar los procesos en los que se ven implicadas. También, las macromoléculas propias de la Bioquímica. Y la fotosíntesis es un proceso físico en el que la luz, con su naturaleza inde-

*Moléculas y Cuántica son un matrimonio indestructible..*

*En las algas verdes se ha descubierto la importancia de la coherencia cuántica en el proceso fotosintético.*

*Espectroscopía con eco fotónico como técnica para seguir la evolución del sistema.*

*Hay enlaces covalentes soportando la superposición de estados.*

fectiblemente cuántica, interacciona con las moléculas, insubordinables a la propia cuántica. Se han estudiado las algas en relación al mecanismo fotosintético y al análisis de eficiencia, concluyéndose que es preciso apelar a la coherencia cuántica para interpretarlo. Collini y col. han observado el proceso a temperatura ambiente (hasta ahora se trabajaba a 77K) y al analizar las proteínas que absorben los fotones procedentes de la radiación solar y que son capaces de excitar los electrones en las moléculas de clorofila que los captan, concluyen que media una especie de "computador cuántico". Ha analizado dos tipos de moléculas actuando a título de antenas que han excitado mediante la incidencia de pulsos láser del orden de decenas de femtosegundo y han logrado crear una superposición de estados electrónicos en los que intervienen muchos estados excitados. A continuación hicieron incidir otro pulso láser para inducir la emisión de un fotón adicional, que se denomina eco y que permite medir con precisión la evolución del sistema. Esta configuración es lo que se denomina Espectroscopía con eco fotónico en dos dimensiones (2D). Se observan oscilaciones de estos estados excitados y se corresponden con las simulaciones cuánticas de este proceso. Se han evidenciado estados cuánticos coherentes que tienen una vida que supera los 400 femtosegundos, mucho más larga de lo esperable. ¿Cómo evitan las algas verdes la decoherencia del estado cuántico, lo que supondría una vida media de unos 100 femtosegundos, que es lo que cabría esperar? Se ha explicado en base a unos enlaces covalentes que actúan a modo de antenas. La energía solar captada, se optimiza entre un grupo de moléculas de clorofila, soslayando los mínimos de energía que propician la degradación de la

eficiencia y las algas fotosintéticas lo logran mediante mecanismos cuánticos, optimizando cuánticamente, como si se tratara de un ordenador cuántico adiabático. De esta forma, los estados cuánticos coherentes son los auténticos responsables de la gran eficiencia energética de la fotosíntesis, al menos en las algas. Así que, la proteína captadora de la luz, tiene que trasladar la energía atrapada lo más rápidamente posible al centro de reacción ubicado en la célula, que es donde se convierte en energía química para la planta. Hasta ahora se suponía que esa energía llegaba a ese centro de reacción de forma aleatoria, pero la propuesta es que la coherencia cuántica es la que permitiría que esa energía ensayara simultáneamente todas las vías posibles, antes de elegir la vía más rápida. El profesor Curmi ha encontrado una clase de criptofitas que tienen el sistema de captación de luz en el que media la coherencia cuántica y en una de las clases de criptofitas está desactivado, como consecuencia de una mutación genética que altera la forma de la proteína que capta la luz. Esto ha revelado el papel de la coherencia cuántica, por comparación.

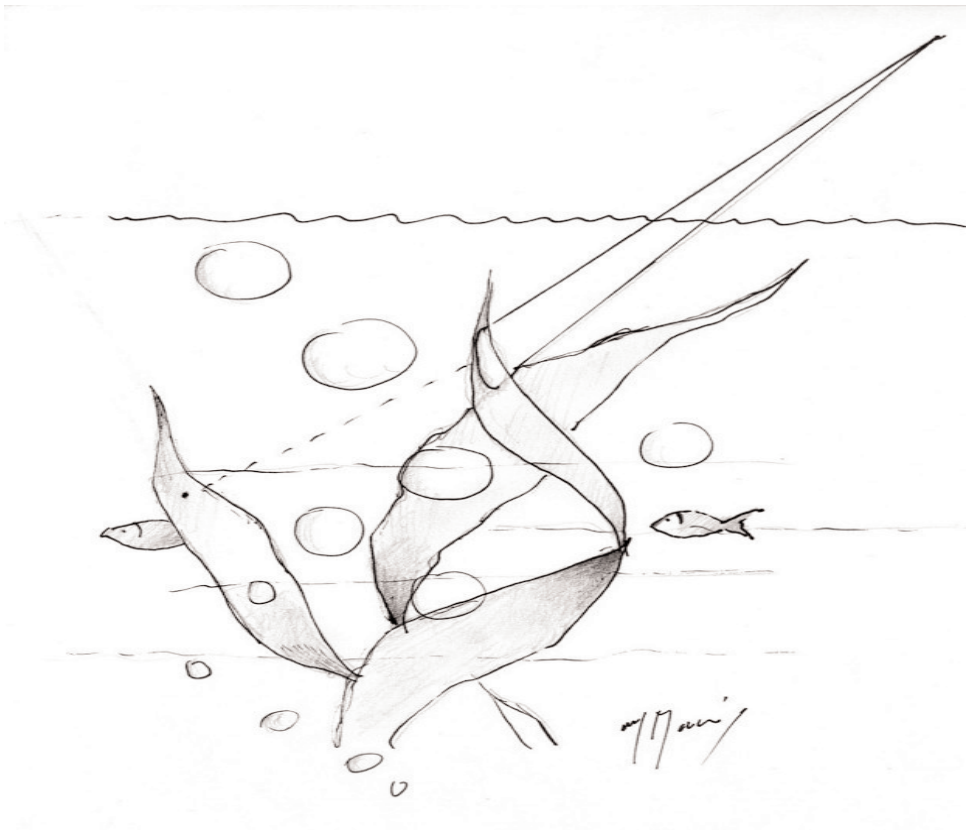
*El comportamiento emula a un ordenador cuántico adiabático..*

*Mutaciones genéticas alteran la coherencia.*

Se ha estudiado por Harrop y col la estructura cristalina de los complejos que captan la luz en especies distintas de criptofitas y en algunos casos se han identificado mutaciones genéticas que resultan en la inserción de un aminoácido que modifica la estructura proteica y altera la coherencia. Seguramente, estos mecanismos pueden justificar la supervivencia en ambientes de escasa luz en donde la coherencia cuántica puede justificar la supervivencia. Recientemente, en la lección de ingreso en la Academia de Ciencias de la Región de Murcia, el Prof. Hernández Córdoba, señalaba la inci-

*Conforme se incrementa el conocimiento acumulado se desvelan más misterios inexplicados. Así responde la Ciencia.*

dencia de las herramientas analíticas y la capacidad de cuantificación que ofrecen, en la creciente eficacia en la determinación de analitos. De forma parecida, conforme crecemos en la acumulación de conocimientos, cada vez nos adentramos con mayor profundidad, desvelando mecanismos que explican más acertadamente y con mayor precisión los procesos. Herramientas y conocimiento van de la mano y prometen mayor profundidad de forma gradual y permanente. Las evidencias de la bondad de las interpretaciones cuánticas con cada vez más numerosas, incluyendo procesos conocidos y de alguna forma explicados. A este acúmulo de saber lo llamamos Ciencia.



## TRAZO 1.18

## Cómo es que son tan pequeños los átomos

En 1944 se publicó la primera edición de un libro firmado por Erwin Schrödinger titulado ¿Qué es la vida?, en el que el Nobel austriaco, que aportó a la Mecánica Cuántica la ecuación que lleva su nombre, decisiva en el desarrollo de la disciplina, reflexionaba sobre la significación de la Física en el desarrollo de los seres vivos. Una vez que la Cuántica se había desarrollado ampliamente para tratar problemas a nivel submicroscópico, surgía la reflexión de la incidencia en entidades materiales como las de un ser vivo. Y uno de los elementos primarios en su reflexión giraba en torno al tamaño comparativo de átomos y un ser vivo, como un ser humano.

*Schrödinger reflexionó sobre la incidencia de la Cuántica en sistemas materiales como un ser vivo.*

Ciertamente, los átomos son muy pequeños. No forman parte de los tamaños con los que normalmente nos desenvolvemos. Se han formulado muchas analogías y se han construido muchos ejemplos, pero el atribuido a lord Kelvin, presentado por Schrödinger, resulta muy significativo. Si marcáramos las moléculas de agua de un vaso y lo vertiéramos en el mar y se distribuyera el contenido uniformemente por las aguas de mares y océanos, cuando posteriormente llenáramos un vaso de agua en cualquier lugar del mar u océano, encontraríamos unos miles de moléculas de las que marcamos. Un vaso puede tener unos cien centímetros cúbicos y los cálculos del Woods Hole Oceanographic, cuantificó recientemente que el contenido de agua de mares y océanos del mundo se puede cifrar en 1.332 millones de

*Ciertamente, los átomos y las moléculas son muy pequeños.*



*La tecnología actual no permite precisiones como identificar las moléculas de agua de un vaso, vertidas en el océano.*

kilómetros cúbicos. Calculando las moléculas que hay en un vaso de agua, las que hay en las aguas marinas, la probabilidad de que las que hay en un vaso que recogemos del mar sea de las moléculas marcadas, deduciremos cuantas marcadas contendrá nuestro vaso una vez lograda la uniformidad de la distribución de marcadas en marinas: 2510 moléculas, que ocuparían un volumen de 751 yocto centímetros cúbicos ( $10^{-24}$ ), imposible de detectar con la tecnología actual.

*Los átomos tienen una dimensión poco definida.*

Los átomos tienen una dimensión poco definida, porque sus límites no son exactos. Recordemos el principio de incertidumbre que nos impide establecer una dimensión exacta. La luz visible que permite observar a través de un microscopio los objetos más pequeños observables a su través (granos, por ejemplo), tiene una longitud de onda entre 400 y 700 nanometros. Usualmente, en torno a 600 nanometros. Pero esa distancia alberga a unos miles de átomos. Los diámetros atómicos se sitúan entre 1 y 2 Angstrom, que es una unidad equivalente a una décima de nanómetro. Esto contrasta con las unidades propias de las medidas de un cuerpo humano: pulgada, palmo, codo, yarda, ... y hoy metro y sus submúltiplos. El problema real es la relación entre ambas longitudes, la de nuestro cuerpo y la del átomo. Cualquier parte de nuestro cuerpo contiene innumerables átomos. Nuestro cuerpo está constituido por innumerables átomos. Ninguno de nuestros órganos se ven afectados por el impacto de un solo átomo. No oímos ni sentimos un átomo. Por extensión, algo parecido podemos formular sobre la Naturaleza.

*No oímos ni sentimos los átomos.*



Hay que imaginar lo que ocurriría si nuestro organismo fuera sensible a un solo átomo, o a pocos. Si nuestro cerebro fuere sensible a un solo átomo, sería imposible desarrollar un pensamiento ordenado, capaz de formar una idea. Cualquier elemento sensorial o cualquier otro órgano se vería alterado como hemos señalado. Sentir, pensar y percibir se verían afectados de forma similar. Schrödinger nos propone que un órgano como nuestro cerebro, con su sistema sensorial asociado, debe estar constituido por un enorme número de átomos para que pueda haber una correspondencia entre el variable estado físico y un pensamiento altamente desarrollado. Las funciones de este órgano son incompatibles con la posibilidad de ser un mecanismo refinado y sensible como para registrar el impacto de un átomo individual del exterior. La razón la establece en que un pensamiento es en sí algo ordenado y que solamente puede aplicarse a un tipo de material, como percepciones o experiencias que tengan un grado de regularidad. Deben obedecer a leyes físicas estrictas y las interacciones físicas deben responder a cierto grado de ordenación física o sea, sometidas a leyes físicas rigurosas.

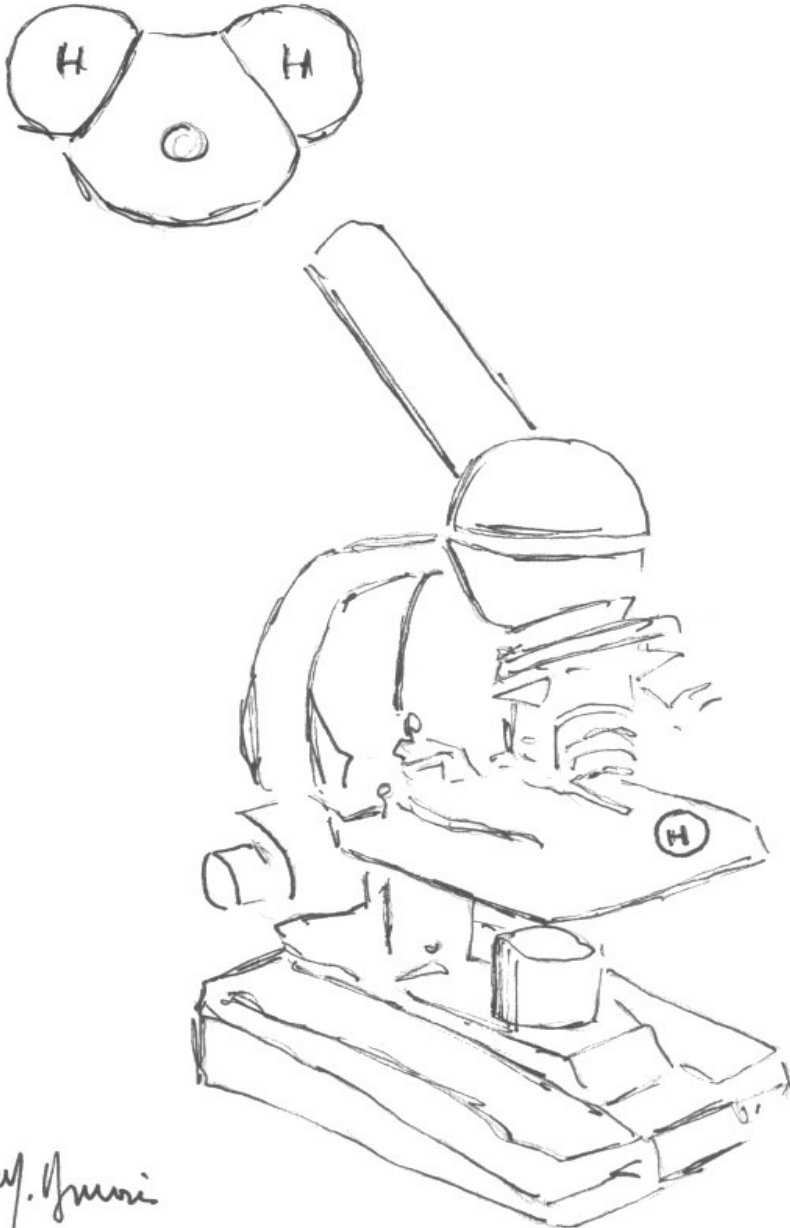
Pero las leyes físicas se basan en la estadística atómico-molecular y, por tanto, son aproximadas. Esto supone que los átomos siguen un movimiento térmico ordenado y no permite que los acontecimientos que tienen lugar entre un número reducido de átomos puedan ser unificados en leyes comprensibles. Solamente a partir de un número enorme de átomos, las leyes estadísticas empiezan a ser aplicables, la precisión de su control aumenta en función de la cantidad de átomos que intervienen.

*Si nuestro cerebro fuere sensible a un átomo, no seríamos capaces de elaborar ni un sólo pensamiento.*

*Las leyes físicas se basan en la estadística atómico-molecular.*

*Las leyes físicas relevantes son estadísticas.*

Todas las leyes físicas y químicas relevantes en la vida de los organismos son de tipo estadístico. Cualquier otro tipo de ordenación está permanentemente perturbado y resulta inoperante por el movimiento térmico de los átomos.



## TRAZO 1.19

## Comprendiendo la gravedad

La mecánica de Newton, formulada en 1686, ha explicado durante más de dos siglos la acción entre dos masas. En su día fue un gran avance. El poder de una teoría científica es extraordinariamente relevante porque logra dar una explicación de fenómenos o procesos y permite predecir comportamientos. Es decir, describe las regularidades que logramos desentrañar los humanos de esa Naturaleza esquiva para explicarse. A lo largo del tiempo, vamos arrancando uno a uno los enigmas en los que discurre nuestra existencia y vamos logrando armonizar todas las variables implicadas. Pero la Ciencia disfruta de una conducta sin par entre las obras humanas: la falsabilidad. Lo que propone vale, mientras no se formula otra teoría que concilie mejor los componentes y las interacciones entre ellos en un sistema que, en último término se identifica con el Universo. Así, la teoría de Newton fue válida mientras que otra no describía más acertadamente que ella y era capaz de describir sistemas y/o condiciones que aquélla no era capaz de describir.

Tiene en su favor haber servido, dada la precisión con que describía el movimiento, para descubrir Urano a partir de las variaciones de la órbita de Neptuno. Pero andando el tiempo, se fueron acumulando situaciones en las que la descripción no era tan acertada. Recientemente, la sonda Casini envió señales desde el otro lado del Sol que, como objeto suficientemente pesado que es, deforma la geometría del espacio, y consigue curvar la

*El poder de una teoría científica.*

*La teoría de Newton fue válida mientras no hubiera otra teoría capaz de describir más y mejor.*

*Con el tiempo se fueron acumulando problemas sin resolver.*

*La teoría de la relatividad vino a resolver muchos problemas.*

*La curvatura del espacio-tiempo es reflejo de su geometría.*

*La teoría de la relatividad especial impedía acciones a distancia instantáneas, como propusiera Newton.*

trayectoria. La teoría de la relatividad general explica y describe estas cosas. Es una teoría de la gravitación, desarrollada por Einstein entre 1907 y 1915, ahora hace 100 años. Mientras que Newton suponía que entre dos masas actuaba una fuerza a distancia que las hacía interactuar, lo que resultaba ser una especie de acción mágica, por cuanto la acción era instantánea, independientemente de la distancia que mediara entre las masas y se propagaba a velocidad infinita, que es la única forma mediante la cual dos masas, como la Tierra y la Luna, pongamos por caso, podían interactuar entre ellas a distancia. La teoría de la relatividad general nos dice que la atracción entre dos masas se debe a una curvatura del espacio-tiempo y esto es un reflejo de la geometría del mismo, excluyendo, por tanto, las acciones de fuerzas a distancia, como describe la mecánica clásica de Newton.

Ya en la teoría de la relatividad especial, formulada en 1905, se descartaban las acciones a distancia instantáneas como describiera Newton, dado que Einstein imponía la condición de que no podía haber una propagación que superara la velocidad de la luz. A la vista estaba que Newton infringía en su teoría de la gravitación la condición de límite de velocidad de la luz que imponía la teoría de la relatividad. Por eso, surgió la necesidad de formular otra teoría de la gravedad que explicara ésta, sin contradecir la teoría especial de la relatividad. Así, se lograron explicar las anomalías de la órbita de Mercurio y de otros planetas, la curvatura de la luz y la contracción del tiempo. La curvatura de la luz es la responsable de que se lleguen a observar múltiples imágenes de un solo objeto astronómico, fenómeno conocido como lente gravitacional.

Al mismo tiempo, impulsó nuevos retos, como las ondas gravitacionales o los agujeros negros, entendidos estos como regiones del espacio en las que la atracción gravitacional es tan intensa que ni siquiera la luz es capaz de escapar a su efecto. El modelo estándar cosmológico del Big Bang también se basa en la teoría de la relatividad general.

*Las ondas gravitacionales son los retos actuales.*

No es la teoría de la relatividad general, la única formulación relativista de la gravedad, pero si es la más simple. No obstante, tampoco parece ser la teoría final, dado que deja abiertas puertas que hay que reconciliar con la mecánica cuántica, que describe los sistemas microscópicos y que requiere una teoría consistente sobre la gravedad cuántica. Hace ahora, un siglo de su formulación. Sigue tan tonificada como en el primer momento. Más que fruto de una idea, lo fue de un trabajo brillante y de varios. Y es posible que lo sea durante mucho tiempo todavía.

*La teoría de la relatividad general, no es la única formulación relativista de la gravedad, pero es la más simple.*



## TRAZO 1.20

## Conocimiento sin verdad

Con más frivolidad de la aceptable, muchos creen encontrar "la verdad" en la Ciencia. En el lenguaje cotidiano se refiere a la Ciencia cada vez que se quiere revestir lo que decimos con una capa de crédito: "estudios científicos avalan que los dientes se quedan blancos con el producto...", "científicamente 2/3 de la población...", "el medicamento tal, ha demostrado científicamente..." La realidad es bien distinta si aproximamos la lupa a los hechos científicos. Ernst Mach reflexionó cuando en los albores del siglo XX la Ciencia se enfrentaba al hecho de que la Mecánica newtoniana, que hasta entonces era válida, se mostraba incapaz de describir nuevos hechos, hasta el punto de que propició la formulación de una nueva mecánica que fuera capaz de rendir cuenta de los hechos observados, ante lo que se abría un escenario en el que el interrogante fundamental era la "verdad de la ciencia" a lo que Mach afirmó que no era esa una tarea de la Ciencia, ni tampoco era su finalidad conocer la realidad, sino simplemente, limitarse a ofrecer esquemas intelectuales útiles para organizar nuestras percepciones sensoriales y poder formular previsiones que nos permitieran tomar decisiones acerca de nuestro comportamiento en el mundo. De este modo, la verdad dejaba de formar parte del objetivo de la Ciencia. El conocimiento y la verdad ni coincidían, ni tenían razones para hacerlo.

*La "verdad de la Ciencia".*

*La verdad no es el objetivo de la Ciencia.*

Suponía esta postura un varapalo para la forma de concepción propia de la época, no solo para los científicos, sino para la gente.

*¿Qué razones hay para considerar a la Ciencia superior a cualquier otra forma de aproximarse a la realidad?.*

*La clave de la Ciencia es la objetividad.*

Tan es así, que hoy todavía perdura ese tic de crédito a las explicaciones científicas, como hemos señalado al comienzo del escrito. Pero la cuestión es todavía más peliaguda, porque si la Ciencia no es capaz de aportar la verdad, entonces ¿qué razones hay para considerarla superior al sentido común y a cualquier otra forma de aproximarse a la realidad? Si pensamos un poco, podemos encontrar razones para justificar la superioridad de la Ciencia sobre cualquier otra forma de explicación-descripción que pretenda aproximarse a la realidad. La clave reside en la objetividad, como razona espléndidamente Agazzi, presidente de la Academia Internacional de Filosofía de la Ciencia: la Ciencia es un conocimiento objetivo. Se trata de que consideramos objetiva una propiedad que se encuentra en el objeto que se investiga (está en él, podemos encontrarla y podemos medirla). La consecuencia es que el discurso que describe esa propiedad característica del objeto, también goza de la peculiaridad de ser objetivo. Por tanto el discurso no es objetivo porque lo formule un sujeto particular, sino que la hacen suya una cierta totalidad de sujetos. Si bien la objetividad, en cuanto propiedad inherente al objeto puede resultar inalcanzable, no ocurre así en cuanto se trate de la aceptación mayoritaria por los sujetos que analizan el objeto y valoran sus propiedades.

La incapacidad de la Física Clásica para rendir cuenta de los hechos experimentales acumulados a finales del siglo XIX, como son los espectros de rayas y la radiación del cuerpo negro, que dio lugar a la formulación de la Mecánica Cuántica, que destronó en los ámbitos microscópicos la descripción de la Mecánica Clásica e igualmente la formulación



de la Teoría de la Relatividad, fue acompañada por una convulsión similar en la Matemática que se concretó en la formulación de las geometrías no euclídeas: la menor distancia entre dos puntos no siempre es la línea recta (pensemos en dos puntos sobre una superficie esférica). La cuestión de "la verdad" se instaló en los escenarios científicos. Se buscaron contradicciones, sin éxito, aunque cada una de ellas contiene formulaciones contradictorias con las de las otras. Se concluyó que no eran ni verdaderas ni falsas, sino esquemas formales cuya pretensión no era en ningún caso, la veracidad, sino solo la perspectiva formalista.

*Las distintas formulaciones científicas no son ni verdaderas ni falsas, ya que no pretenden la veracidad.*

Desde entonces, la Ciencia ha precisado que su objeto de atención es el conocimiento objetivo. No trata de alcanzar ninguna verdad. La Física resulta ser la descripción más cabal de nuestra percepción del mundo. La realidad, la verdad, pudiera ser, perfectamente otra cosa. La descripción científica es útil para nosotros y nos permite formular predicciones. Aceptamos como científico lo que compartimos muchos sujetos, estando permanentemente abiertos a la falsación de las interpretaciones, de las leyes formuladas. Así es la Ciencia, lo demás es impostura.

*La Física es la descripción más cabal de nuestra percepción del mundo.*



M. Merini .





## TRAZADO 2

### EL AVANCE CIENTÍFICO

- 2. Introducción. -109-
- 2.1. Conquistando los cielos. -111-
- 2.2. Conservación, cambio y simetría. -117-
- 2.3. Cumpleaños cósmico. -119 -
- 2.4. De aire, fuego y tierra. -127-
- 2.5. De lo mejor que puede ocurrir en Ciencia. -131-
- 2.6. Dedicándose a pensar. -135-
- 2.7. Del mpvimiento en zig zag al número de Avogadro. -139-
- 2.8. Desequilibrio bioelectrónico. -145-
- 2.9. Desplazamientos. -149-
- 2.10. Disidencia científica. -155-
- 2.11. Dogmatismo científico. -163-
- 2.12. Einstein y la belleza de las ecuaciones.. -167-
- 2.13. El camaleón cósmico. -175-
- 2.14. El clima que tendremos. -185-
- 2.15. El fin del Universo. -195-
- 2.16. El origen del tiempo. -201-
- 2.17. El primer sonido del Universo. -205-
- 2.18. El problema inverso. -209-
- 2.19. El subsuelo de la vida. -215-
- 2.20. Electrones lentos. -227-

## TRAZADO 2

### El avance científico

La Ciencia no descansa. No da por hecho nada, ni considera definitiva ninguna cosa. A veces la referencia se hace incluyendo una cita del tipo “... según dicen los científicos”, o “... estudios científicos” o “la Ciencia lo garantiza” aunque desde la Ciencia no se sepa nada de ello. Lo que se denomina Ciencia, no es más que el conocimiento acumulado que la Humanidad ha ido destilando a lo largo de las edades. No hay Ciencia antigua ni Ciencia Moderna. Sólo hay Ciencia. La complejidad de la Naturaleza, cada vez está más al descubierto, conforme los científicos van desentrañando sus secretos. Por eso solamente se puede afirmar que con lo hoy conocido podemos afirmar que...

Se trata de interpretar apropiadamente lo que ocurre y como tiene lugar, para poder pronosticar acertadamente. El avance científico se

*Pequeños matices cambian interpretaciones*

basa en las miradas coincidentes de los distintos científicos que alternativamente van corroborando o corrigiendo las propuestas de otros científicos. A veces, pequeños matices cambian las interpretaciones. Otras veces los aparentes aciertos se desvelan erróneos. Enmendar y corregir, son herramientas de progreso. Corroborar desde distintos puntos de vista, es igualmente una herramienta de impulso.

*Voluntad irrefrenable de la Humanidad por el conocimiento.*

El mundo científico está inmerso en esa irresistible y humana voluntad de desentrañar cómo ocurren las cosas. No hay parcela que escape a su observación. Otra cosa es que hayan predilecciones. Las modas irrumpen en todo tipo de colectivos. No es fácil que algo logre instalarse como referencia de moda. Casi siempre se trata de propuestas de mucho alcance, capaces de suscitar innovaciones que modifican profundamente las opciones de la Humanidad para impulsar su progreso, incluyendo la bondad de las nuevas formas que implica. En casos, son capaces de justificar la referencia de revoluciones científicas. No hay muchas acumuladas. No es fácil disfrutar de las características que lo justifiquen.

*Revoluciones científicas*

*Avanzamos siempre, progresamos casi siempre.*

Conforme avanzamos en el tiempo, conocemos más y mejor. La Ciencia ha posibilitado esta posición. Hoy disfrutamos de avances impensables hace bien poco tiempo. Pero no hay límites que se puedan entrever. Avanzamos siempre y casi siempre progresamos.

## TRAZO 2.1

## Conquistando los cielos

El Hidrógeno es el primer elemento de la Tabla periódica. Abre la puerta al orden y concierto de los elementos. En condiciones normales es un gas incoloro, inodoro y muy reactivo. Está presente tanto en la materia viva como en la inerte. Es el elemento más abundante en el Universo. En nuestro mundo está integrado en la imprescindible agua. Tiene otro record: el ser el elemento más ligero que se conoce. La tecnología también permite disponer de él en estado líquido. Incluso puede lograrse en estado metálico, como evidenciaron Wigner y Huntington en 1935, al comprimirlo a más de 250.000 atmósferas y comprobar que conducía la electricidad. Se supone que en planetas gigantes comprimidos gravitacionalmente como Júpiter y Saturno podría formar parte del núcleo. En enero de 2017 anunciaron haberlo obtenido en el laboratorio, científicos de la Universidad de Harvard, Dias y Silvera, bajo una presión de 495 Gigapascales, una frecuencia de plasma de 30.1 electrón voltio y una temperatura de 5.5 Kelvin. Science publicó su artículo y Nature publicó otro en el que reinaba el escepticismo. En enero de 2017 se anunció que la muestra se había perdido. Los núcleos formarían una red cristalina a unas distancias inferiores al radio de Bohr y comparable a la longitud de onda de De Broglie correspondiente a los electrones, que no estarían ligados y formarían parte

*El Hidrógeno es el elemento más abundante del Universo.*

*En la red cristalina, los núcleos estarían situados a una distancia comparable a la  $\lambda$  de de Broglie*

*Podría ser un metal líquido, a altas presiones.*

de la banda de conducción como ocurre en los metales. Se piensa que a presiones en torno a 400 Gigapascales podría ser un metal líquido, como postula Babaev. Sus características como superconductor, incluso a temperatura ambiente serían extraordinarias, con reacciones propias de estados de la materia desconocidos hoy. También se pronostican transiciones de fase de la superconductividad a la superfluides.

*Su ligereza lo acredita como combustible ideal.*

En la tabla periódica, está situado en la cabeza de los metales alcalinos, aunque forma moléculas diatómicas como el grupo de los halógenos, por tanto, elementos no metálicos y también como los elementos no metálicos de la segunda fila del sistema periódico, como el oxígeno o el nitrógeno. Su ligereza lo ha presentado como el combustible ideal. Es eficiente y limpio, dado que el único residuo que propicia es agua. La Ciencia ficción lo emplea en las naves espaciales con demasiada profusión. Lo cierto y verdad es que la historia del hidrógeno en el transporte no es demasiado gloriosa. Docenas de ingenios voladores acabaron en desastres extraordinarios como el famoso dirigible tipo zepelín de Hindenburg, acaecido en 1937 y que quedó destruido implicando la muerte de 36 personas, casi un tercio de los embarcados. Vino a suponer el fin de los dirigibles que empleaba el hidrógeno como combustible de medios de transporte. Pero, por diversas circunstancias, en tiempos recientes, vuelve a ser una propuesta de combustible para

*Su historia no es demasiado gloriosa en cuanto al transporte se refiere.*



la circulación, frecuentemente asociado a la combinación con las células de combustible y la disposición de los motores eléctricos como potencia de transporte. Las dificultades de lograrlo derivan de que no es fácil disponer de un medio de almacenamiento suficientemente ligero y compacto para el hidrógeno. Su propia naturaleza lo impide, porque como consta de dos protones y dos electrones, lo que hace que las fuerzas atractivas sean débiles y esto, a su vez, implica que el pozo de potencial que otorga la estabilidad del hidrógeno como molécula es muy bajo. Una primera consecuencia es que el punto de ebullición es sumamente bajo, 20.4 Kelvin. Almacenar hidrógeno en forma líquida requiere, por tanto, un contenedor criogénico. Pero todavía hay otra consecuencia de la debilidad de las fuerzas atractivas y es que se requiere muy poca energía para que las moléculas escapen de ese pozo de potencial, con lo que el calor de vaporización es muy bajo. Esto quiere decir que, si queremos disponer de hidrógeno líquido en un vehículo, la facilidad de evaporación es un serio problema. Se requeriría un tanque de alta presión. Aun así hay una dificultad añadida, consistente en que si las fuerzas repulsivas son las dominantes a temperatura ambiente, la compresión de un gas no seguirá la conducta de un gas ideal. Así ocurre que, a 700 bares de presión, que se aproxima a la que hoy es usual, la densidad es solamente  $\frac{2}{3}$  de la que se esperaría de comportarse como un gas ideal.

*Su punto de ebullición es sumamente bajo: 20.4 K.*

*La facilidad de evaporación es un serio problema para almacenarlo.*

*Todo parece indicar que las baterías aventajan al hidrógeno como fuente de energía para el transporte.*

Si como nos sugiere Hermans, de la Universidad de Leiden, comparamos ventajas e inconvenientes con el almacenamiento de energía en una batería, la primera diferencia notable es que mientras que las dificultades del empleo del hidrógeno como combustible, derivan de su naturaleza, en el caso de las baterías sus posibilidades son función de la tecnología. Y se han hecho avances considerables en los últimos tiempos, en especial en las baterías de litio. La densidad de energía gravimétrica, ha aumentado en un factor tres desde 1991 y hoy se sitúa en torno a 0.25 kilowatios hora / kilogramo. Pero el coste ha caído en un factor de 10 en las dos últimas décadas. Esto parece indicar que, pese a las apariencias, la batalla se inclina por la batería como ganadora, en detrimento del hidrógeno, en cuanto a su empleo como combustible para el transporte.

En todo caso, la eficiencia resulta a la postre determinante. Recordemos que cuando se inicia el recorrido de los motores de combustión, en un escenario gobernado por las altas potencias que ofrecía el vapor, los constructores alemanes volvieron su mirada hacia la aviación, donde, precisamente, el factor decisivo venía a ser la ligereza que se requería imponer a los motores. Y así fue. Hasta que se incorporó a la innovación del automóvil, tuvo que pasar tiempo y lograr mejoras técnicas suficientes. En aviación, el peso es crucial. Pensándolo bien, la densidad de energía gravimétrica del hidrógeno es muy eleva-

da, excepcionalmente alta, en torno a tres veces superior a la del queroseno. En vuelo de larga distancia, resulta decisivo, dado que el peso del queroseno llega a igualar al de la aeronave vacía. Aquí podría ser eficaz y eficiente. Las condiciones cambian lo suficiente como para que la evaporación, que en vehículos terrestres es un problema serio, en aviación no lo es tanto, dado que los vuelos tienen una duración limitada y la baja temperatura exterior a las alturas a las que se efectúan los desplazamientos en aeronaves supone una reducción importante con respecto a la temperatura del hidrógeno líquido. Así que parecen ser los cielos el medio en el que el hidrógeno evidencie su competencia como combustible de transporte. La velocidad supersónica, es posible que aguarde. Puede ser el hidrógeno el que conquiste los cielos. En el Universo, ya lo hizo.

*En el transporte aéreo sí es una alternativa competitiva.*



## TRAZO 2.2

## Conservación, cambio y simetría

El paradigma propuesto por Newton, conceptualmente suponía un avance al postular leyes cuantitativas de validez universal, es decir, tanto aquí en la Tierra como en los Cielos. Se explicaban, de igual forma, todos los movimientos de los planetas, como los de los objetos cotidianos aquí en la Tierra. Al final, todos los fenómenos naturales se acababan explicando en términos de fuerzas y los movimientos que originan. La Naturaleza tenía una descripción mecano-determinista.

*Una descripción mecano-determinista de la Naturaleza.*

La fuerza era una noción intuitiva, pero surgió un concepto más elaborado y más abstracto, cual es la energía. Es el concepto que conecta la fuerza con el trabajo. Cuando empujamos un objeto, nuestra fuerza realiza un trabajo, que es tanto mayor cuanto mayor es el desplazamiento. Si no consideramos rozamientos con la superficie sobre la que deslizamos el objeto, el trabajo que realizamos se materializa en un cambio de la velocidad del cuerpo al desplazarse. Leibniz introdujo el concepto de energía cinética, para medir la velocidad y el de energía potencial que depende de la posición y es el trabajo que realiza la fuerza. La suma de ambas es la energía mecánica, constante en el tiempo, es decir, que la energía mecánica se conserva. Para Newton el movimiento de las masas materiales identifica el cambio de velocidad debido a las fuerzas que actúan. Si introducimos el concepto de energía, el movimiento resulta de una transformación de la energía potencial en cinética y viceversa. La conexión conceptual entre fuerza y energía es a través de la energía potencial. La fuerza intenta dis-

*Surgieron los conceptos de fuerza y de energía.*

*La conexión entre fuerza y energía es a través de la energía potencial.*

*Según Feynmann la energía es un concepto muy sutil y difícil de entender.*

minuir la energía potencial y es tanto mayor cuanto más grande es la disminución que produce de esta última. Cuando se incorporaron otros tipos de energía, además de la mecánica, como la eléctrica o la nuclear, el principio de conservación extendió su validez a estos tipos, identificando la energía potencial que correspondía a estas fuerzas. Feynman señaló que la energía es un concepto muy sutil; es muy difícil entenderlo bien.

*Leyes de conservación: las cantidades pueden cambiar, pero su suma es constante.*

Las leyes de conservación se establecen por la exigencia de la constancia de algo que forma parte del sistema: leyes, objetos propiedades o relaciones, como acertadamente señala Alvaro Domínguez, al reflexionar sobre la información y la entropía. No hay ninguna ley de conservación del número total de partículas, sí del número de bariones o leptones. La hay de la masa o de la carga totales o de invarianza relativista. Un principio o ley de conservación establece que algo queda como invariante, pero los elementos que lo forman pueden cambiar. En realidad, se trata de un principio de conservación y transformación. Las cantidades pueden variar constantemente, pero su suma, por ejemplo, no se altera. Las energías cinética, térmica, gravitacional, se transforman unas en otras, pero permanece invariable en todos los procesos naturales. Se asocia lo invariante, lo que se conserva a lo que varía, a lo que cambia.

*Tres tipos de simetría.*

Se distinguen tres tipos de simetrías: de objetos, de propiedades y de relaciones. Estas últimas, fundamentales en la física contemporánea. El concepto de simetría asocia el cambio a la invariancia: identificamos la existencia de simetría, cuando efectuado un movimiento (transformación apropiada) revela la existencia

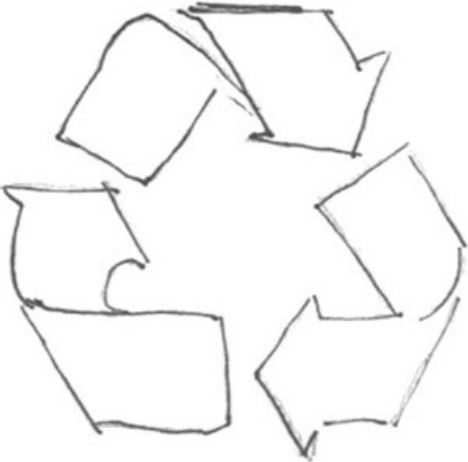
de simetría a través de la conservación de ciertas características del sistema. Si giramos un cuadrado  $90^\circ$  en torno a un eje perpendicular al plano de la figura y que pasa por donde se cruzan las diagonales, el cuadrado completo no varía en absoluto. El cambio nos ha conducido a una invariancia, debido a la simetría que se ha revelado por la invariancia frente al cambio.

Cada simetría tiene asociado un invariante y esto implica un vínculo entre propiedades de simetría de una teoría física y sus leyes de conservación. Si analizamos la ley de Newton, vemos que tiene varias simetrías de relaciones y la forma de dicha ley, permanece invariable si el sistema se desplaza arbitrariamente una distancia fija o proporcional al tiempo; si se gira el sistema de referencia un ángulo arbitrario y si el origen del tiempo se desplaza arbitrariamente. Son tres invariancias, consecuencia de tres propiedades de simetría del espacio-tiempo: 1) el espacio es homogéneo, 2) es isotrópico y 3) el tiempo es uniforme. A cada una de estas simetrías, reflejadas en las invariancias, le corresponde uno de los tres invariantes fundamentales de la Mecánica Clásica, por orden: ley de conservación del impulso lineal; ley de conservación del impulso angular y ley de conservación de la energía.

La conclusión final es que, en la Naturaleza, lo que cambia, cambia porque algo se conserva y lo que se conserva, se conserva en virtud de algo que cambia. Lo que varía y lo invariante, una relación biunívoca entre simetrías y leyes de conservación. ¡Qué maravilla, la sabia comitancia de lo que cambia y lo que se conserva!

*El espacio es homogéneo e isotrópico y el tiempo es uniforme.*

*Relación biunívoca entre simetrías y leyes de conservación.*



Y/moñes



## Cumpleaños cósmico

No solo es curiosidad, como ocurre con la edad de algún conocido; también es necesidad antropológica conocer cuando comenzó su andadura este mundo físico en el que estamos. El infinito siempre ha repugnado por su inaprensibilidad y desde siempre se ha tratado de evitarlo. El ansia de conocimiento nos impele a investigar, formular modelos, conocer, en suma. Así hoy, con gran certidumbre, podemos comparar la edad del Universo que está entre 13.761 y 13.835 millones de años, con la de una vida humana, cuya media actual es de 28.4 años (en Uganda es de 15 años y en Europa es de 40 o más) o la esperanza de vida (estimación del promedio que viviría un grupo de personas nacidas el mismo año si la tasa de mortalidad de la región evaluada se mantuviera constante) que en Europa es de 78.4 y la media mundial de 67.2. España figura en segundo lugar, tras Japón, con 83 años de esperanza de vida de los varones y 86 para las mujeres.

La medida de la edad del Universo, no es nada trivial. La idea se debe a un gran astrónomo norteamericano, Edwin Hubble que, en torno a 1920 relacionó las distancias observadas entre las galaxias, con los espectros de luz que emitían, concluyendo que las galaxias se alejan entre sí a velocidades que son proporcionales a las distancia que las separa. Como en aquellos momentos ya se habían obtenido soluciones a la ecuación de la relatividad general e indicaban que el Universo se expandía, la propuesta de Hubble se interpretó como una prueba de ello. Justamente a la constante de pro-

*Es necesidad antropológica conocer cuando comenzó el mundo físico en que vivimos.*

*Edwin Hubble. encontró una evidencia de la expansión del Universo.*

*Aunque se habla de constante de Hubble, en realidad es una función y no ha tenido siempre el mismo valor.*

*El inverso de la constante de Hubble es la edad del Universo.*

*La velocidad relativa de estrellas o galaxias se obtiene a partir de las líneas espectrales de ciertos elementos químicos.*

porcionalidad entre la velocidad y la distancia entre las galaxias, encontrada por Hubble, se le denominó "constante de Hubble". En realidad no es una constante, porque no siempre ha tenido el mismo valor, como proponen los modelos cosmológicos actuales, sino una función del tiempo,  $H(t)$ , "función de Hubble". La denominación de constante de Hubble, aunque no lo sea, ha quedado para el valor de esa función en el tiempo actual y se le denomina,  $H_0$ .

Es fácil entender la trascendencia de esta constante de Hubble, por cuanto si toma el valor de la velocidad a la que se alejan dos galaxias en función de la distancia a la que se encuentran, si tomamos el valor inverso, tendremos la separación de dos galaxias en el momento en el que se ha dado el valor de la constante de Hubble. ¿Cuál es la referencia del tiempo? Naturalmente todo el transcurrido desde que esas galaxias comenzaron a separarse, es decir, desde el comienzo, por tanto, desde que la singularidad del Big Bang tuvo lugar. Por consecuencia, conociendo el valor de la constante de Hubble en el momento actual, su valor inverso es el tiempo transcurrido desde el Big Bang, es decir la edad del Universo. Cada modelo de Universo implica una relación entre el desplazamiento al rojo y la distancia.

Las medidas de las velocidades con respecto a la distancia entre galaxias, no es nada fácil. Para determinar la velocidad relativa de una estrella o una galaxia, se emplea el espectro de la luz emitida por estas. Para ello se seleccionan las líneas espectrales de ciertos elementos químicos y se miden las longitudes de onda en el laboratorio y en la fuente emisora. Se detecta un desplazamiento de unas líneas

con respecto a otras. Las medidas en el laboratorio suelen ser longitudes de onda mayores cuando la fuente emisora se aleja de nosotros, por lo tanto, éstas últimas se desplazan hacia el rojo. Por el contrario las medidas del laboratorio son más cortas que las emitidas por la estrella o galaxia, cuando se acerca, por lo tanto, éstas se desplazan hacia el azul, que es el otro extremo del espectro electromagnético en la zona visible. Estos procesos son debidos al efecto Doppler y debidos a la incidencia de la fuente emisora cuando se acerca o aleja de un observador. Es el mismo proceso que nos hace oír el pitido del tren o el ruido del motor de un coche o motocicleta, más agudo cuando viene hacia nosotros y más grave cuando se aleja.

*El efecto Doppler permite discernir si una Galaxia se acerca o se aleja de nosotros.*

En un Universo en expansión debemos considerar tres efectos para determinar el movimiento de una galaxia: inercia de la expansión (caracterizada por la constante de Hubble), el frenado de la expansión debido a la atracción gravitatoria de todas las masas del Universo y el efecto repulsivo asociado a la constante cosmológica. Si prescindimos de ésta última, el proceso sería parecido al asociado a una piedra lanzada hacia arriba verticalmente jugando como contrapuestos la inercia del lanzamiento y la atracción gravitatoria. Si en el Universo que analizamos hay muy poca densidad de materia, el efecto dominante será el inercial y la tasa de expansión será prácticamente constante. Los distintos modelos, Universo de Einstein-de Sitter, Universo Crítico dominado por radiación, Universo vacío y Universo dominado por la densidad de energía del vacío, los valores del parámetro de desaceleración son diferentes. La incidencia de ello se traduce en que los desplazamientos al rojo pueden ser

*Tres efectos concomitantes determinan el movimiento de una Galaxia.*

*La expansión acelerada del Universo debió ser más lenta en el pasado que la de hoy.*

menos importantes que lo esperado en un Universo de baja densidad. Básicamente, la traducción de todo ello es que la expansión acelerada del Universo debió ser más lenta en el pasado que en la actualidad, con lo que el Universo precisó más tiempo para alcanzar la separación que hoy se observa y también quiere decir que la luz de la supernova ha empleado más tiempo en llegar a nosotros, lo que incide en la distancia aparente, al detectarse un menor brillo aparente.

*La luminosidad debe decrecer conform se aleja una estrella o Galaxia.*

Para medir la distancia a la que se encuentra una estrella o una galaxia, se mide la luminosidad, es decir, la energía emitida por unidad de tiempo, que deberá decrecer, conforme se aleja. Si se conoce la luminosidad absoluta, a partir de la luminosidad observada en la Tierra, podemos saber la distancia a la que se encuentra. Pero la luminosidad absoluta no podemos conocerla, aunque hay otras referencias que nos pueden servir: las estrellas denominadas cefeidas y las supernovas de tipo Ia. Las cefeidas son un tipo de estrellas variables, descubiertas en 1784 por un astrónomo aficionado inglés, Goodricke, cuya luminosidad cambia cíclicamente con periodos entre 1 y 50 días. Son estrellas muy grandes, hasta 10 veces nuestro Sol y en nuestra Galaxia se encuentran en los brazos de la espiral. Se las conoce como piedras miliars del Universo, dado a su empleo como referencia, basado en que hay una relación muy precisa entre su variación cíclica de luminosidad y su luminosidad intrínseca o magnitud absoluta. Cuanto más largo es el ciclo, más luminosa es la estrella. Es por ello que los astrónomos las buscan, dado que son verdaderos indicadores de distancias.

*Piedras miliars del Universo: las Cefeidas. Indicadores de distancias*

La alternativa son las supernovas tipo Ia, dado que son estrellas que se producen tras la violenta explosión de una enanas blancas situadas en sistemas binarios, que son las que han completado su ciclo de vida finalizando la fusión nuclear. Produce picos de luminosidad correspondientes a masas que explotan mediante el mecanismo de acreción, que se produce desde la estrella compañera y hace que alcance el límite superior de masa, conocido como de Chandrasekhar, para comenzar a colapsar y la compresión provoca la combustión explosiva del carbono que acaba produciendo la destrucción de la estrella. La descomposición radiactiva de Níquel y Cobalto que se producen en la explosión, son las que provocan el pico de luminosidad, que está relacionado con la rapidez de debilitamiento de su brillo. Dado que la luminosidad relativa de una supernova del tipo Ia, cuyo error está estimado entre el 10 y el 20%, se pueden emplear para la determinación de la magnitud aparente de las supernovas al depender principalmente de la distancia. Al igual que las Cefeidas, las supernovas tipo Ia se emplean como candelas estándar.

*Otra alternativa para medir distancias son las supernovas, en las que la descomposición radiactiva de Níquel y Cobalto provocan picos de luminosidad.*

Cefeidas y supernovas tipo Ia, permiten establecer una curva general de variación de la luminosidad con el tiempo. Se calibran distancias de algunas de ellas y la curva de calibrado permite determinar distancias en general. Hoy día se emplea un procedimiento en tres etapas. Un primer paso consiste en medir la distancia de la Galaxia NGC 4258, empleando métodos geométricos y físicos, basados en las leyes de Kepler. Al determinar la luminosidad de las cefeidas de esta Galaxia, se concreta el primer patrón. El paso siguiente consiste en examinar Cefeidas y Supernovas Ia en

*Hoy se usa un procedimiento en tres pasos.*

Galaxias más alejadas y se calibra la luminosidad de las supernovas, concretando la segunda referencia. Finalmente, se mide el desplazamiento al rojo de Galaxias más alejadas, deduciéndose la distancia haciendo uso de las supernovas de la mismas.

*En la actualidad con la constante de Hubble en vigor, la edad del Universo se cifra en 13871 millones de años.*

En la actualidad se propone un valor de la constante de Hubble,  $H_0 = 70$  kilómetros por segundo y Megaparsec. Como un parsec equivale a 3.26 años luz, si calculamos el inverso de la constante de Hubble, obtenemos:

$$\begin{aligned} 1/H_0 &= 1/70 \text{ Mparsec s / Km} = 1/70 \times 3.26 \times \\ &106 \times 299\,792.458 \text{ años} \\ &= 13961 \times 106 \text{ años} = 13871 \text{ millones de años} \end{aligned}$$

Este resultado está ligado a la hipótesis que subyace de que el Universo siempre se ha expandido al mismo ritmo y su significado es el tiempo transcurrido desde que todas las Galaxias partieron para la separación. Si aplicáramos una función de Hubble, un tratamiento, un poco más sofisticado y variable en el tiempo, obtendríamos un resultado algo inferior. El propuesto se encuentra en el intervalo 13.761 y 13.835 millones de años, incluyendo una función de Hubble y determinando con gran precisión la distancia de las Galaxias. Hay que reparar en lo poco que vivimos y la importancia del conocimiento acumulado para inducir y deducir convenientemente lo importante de cuanto nos rodea.



## De aire, fuego y tierra

En marzo de 1775 Priestley comunicó que había descubierto el oxígeno. Agregó toda una teoría sobre la "verdadera naturaleza" del oxígeno, al considerar que estaba compuesto por ácido nítrico y tierra. Priestley narra que lo descubrió en la casa en la que estaba al cuidado de su patrón Lord Shelburne y que fue un descubrimiento accidental. Con una "lente ardiente", que era una lente convexa que concentraba los rayos solares en un área pequeña calentándola, hasta el extremo de que provocaba la ignición de lo expuesto en la superficie. Se usaron mucho en el siglo XVIII para estudios químicos de materiales ardiendo en vasos cerrados ya que los productos de la combustión quedaban atrapados para su análisis. Se mantuvieron estos procedimientos hasta el advenimiento de la ignición eléctrica. Priestley ensayaba el efecto del calor sobre distintas sustancias, entre las que se encontraba el óxido de mercurio rojo obtenido por calentamiento del metal en aire durante mucho tiempo y que se denominaba precipitado rojo o mercurio calcinado. Puso una pequeña cantidad de esta sustancia en un pequeño bulbo lleno con mercurio e invirtió el bulbo y calentó la sustancia situándola en la lente ardiente. Dice Priestley que el 1 de agosto de 1774 ..."*extraje el aire del calcinado de mercurio, encontrando que mediante la lente, el aire fue expelido de aquél, muy rápidamente... pero lo que más me sorprendió fue que una vela ardía en este aire con notable vigor, mucho más que la llama de una vela cuando arde en aire nitroso, expuesta a hierro u óxido nítrico (aire nitroso) ,*

*Descubrimiento de oxígeno por Priestley.*

*Priestley describió brillantemente el hallazgo.*



*Con los resultados de 1775, Priestley estaba convencido que el oxígeno estaba compuesto de ácido nítrico y tierra.*

*Finalmente, Priestley se convenció de que el oxígeno era aire desprovisto de flogisto.*

*Sheele, de forma independiente descubrió, también el oxígeno.*

*Sheele suponía que el calor está compuesto de oxígeno y flogisto.*

*pero sabiendo que no se había usado ningún ácido nítrico en la preparación del calcinato de mercurio, me encontré perdido para dar cuenta de ello".* Repitió el experimento con otra muestra de precipitado rojo, que se aseguró que no procedía de calentamiento con nitrato de mercurio y volvió a encontrar que el gas que se desprendía, tras agitación en agua, todavía hacía arder la llama de una vela con gran intensidad. Por tanto, no era óxido nítrico. También obtuvo oxígeno a partir de plomo rojo, que no se obtenía con ácido nítrico. Cuando redactó sus resultados en 1775, estaba convencido de que el oxígeno se componía de ácido nítrico y tierra. La verdadera naturaleza del oxígeno, como un gas diferente del óxido nítrico, no la percibió hasta avanzado 1775. Para Priestley era un aire atmosférico desprovisto de flogisto. Desflogistizar el aire suponía reducir aquel a un cuarto o un quinto. De hecho, cuando Cavendish descubrió el hidrógeno en 1766, pensó que era flogisto puro.

Además de Priestley, el oxígeno fue descubierta de forma independiente por Sheele en torno a 1771-1772, como se desprende de sus notas de laboratorio. En un libro titulado "Sobre el Aire y el Fuego" publicó sus experimentos en 1777, aunque finalizado el manuscrito en 1775. Obtuvo oxígeno mediante una variedad de procedimientos: descomposición de vapor de óxido nítrico mediante calor, calentamiento de óxido de mercurio y carbonato de plata, calentamiento de dióxido de manganeso con ácidos sulfúrico y arsénico, etc. Explicó sus resultados bajo la suposición de que el calor está compuesto de oxígeno (aire ardiente) y flogisto. Al igual que Cavendish, identificó el flogisto con el hidrógeno. Pensaba que quemando hidrógeno en aire, el producto de la



unión del hidrógeno y el aire ardiente era el calor. Le faltaba tener en cuenta la formación de agua, explicable porque trabajaba con agua caliente. La teoría de Sheele proponía que la parte que denomina "calx" (como el contenedor de los metales que acompañaba al flogisto) podía reducirse a metal: bien como "calces" de metales comunes y el flogisto se le suministraba por sustancias ricas en él, como el carbón o la otra alternativa consistía en las "calces" de los metales nobles que se reducían solamente con calor y el flogisto se suministraba por la descomposición del propio calor que estaba compuesto por aire ardiente (oxígeno) y flogisto. El flogisto reducía el "calx" a metal y el aire ardiente quedaba libre.

*El flogisto reducía el "calx" a metal y el aire ardiente quedaba libre.*

La autoría del descubrimiento del oxígeno se ha debatido mucho por los historiadores de la Química. Las fechas en las que se comunicó el descubrimiento siguen discutiéndose, aunque todo indica que son prácticamente coetáneas. En todo caso estas dos referidas son independientes y todo parece indicar que ambas válidas para tenerlas en cuenta.

*Es muy posible que ambos descubrimientos independientes fueren válidos.*



7/1/07

## TRAZO 2.5

## De lo mejor que puede ocurrir en Ciencia

Cien años después del programa positivista de Hilbert, tuvo lugar otro intento de codificar el conocimiento, pero esta vez fue nefasto, gracias a la aparentemente simple reflexión de otro alemán, Kurt Gödel, que se interesó en la lógica. Su timidez y reticencia a grandes pronunciamientos, al contrario que Hilbert, redujeron la explosividad de sus teoremas de incompletitud, aunque iluminó a la comunidad matemática. Resulta que un sistema consistente en Matemáticas, como la familiar aritmética y sus operaciones (suma, resta, etc.) no puede ser ni completo ni consistente. La consistencia se refiere a las características de las reglas de un sistema que no producirán enunciados contradictorios, como por ejemplo que dos cosas sean y no sean iguales. Pese a que pueda parecer que esto es muy simple, es diabólicamente difícil asegurar que unas pocas sentencias, aparentemente simples, en cualquiera de las miles de formas posibles en que pueden ser usadas, no generen nunca una conclusión ilógica. Introduciendo conceptos, aparentemente razonables, como "cero" o "infinito" en la aritmética simple, por ejemplo, se pueden generar incompatibilidades extrañas o antinomias, como las denominan los matemáticos. El reto era demostrar que para un sistema particular de axiomas raíz, las reglas básicas fundamentales, nunca derivarán en incompatibilidades. Lo que Gödel demostró, usando una extraña y nueva correspondencia entre matemática y lógica, de su invención, fue que si un sistema era consistente, nunca podría demostrar que es completo con las reglas de ese sis-

*Los teoremas de incompletitud de Gödel pusieron en cuestión las aspiraciones de completitud y consistencia de los sistemas matemáticos.*

*Si un sistema era consistente, nunca podría demostrarse que era completo con las reglas de ese sistema..*

*Enunciados obviamente ciertos no se pueden demostrar.*

tema. Esto significa que algo que se demostrara cierto usando el sistema no podría ser probado, de hecho, que lo era. Ya que las pruebas (demostraciones) son el fundamento de las matemáticas, resulta curioso que enunciados obviamente ciertos no se puedan demostrar.

*La paradoja de los cretenses o del embuste.*

El quid de la cuestión se puede apreciar considerando alguna de las paradojas que atormentaran su cerebro de forma poco placentera. La más famosa de las paradojas es la de los cretenses, conocida también como la paradoja del embuste. Los enunciados son de la forma "*los cretenses reclaman que todos los cretenses son mentirosos*" ¿que crees tú? Otra versión dice "*toma una carta blanca y escribe en una de las caras "el enunciado de la otra cara de esta carta es verdadero"* y en la otra cara, "*el enunciado de la otra cara es falso*". Para Gödel, estos juegos mentales fueron la base de la nueva forma de lógica que usaba para demostrar que en muchos casos no podemos decir nosotros mismos la verdad.

*Lejos de suponer un final a la proposición mesiánica de problemas, fue un acicate para nuevas oportunidades de investigación filosófica y técnica..*

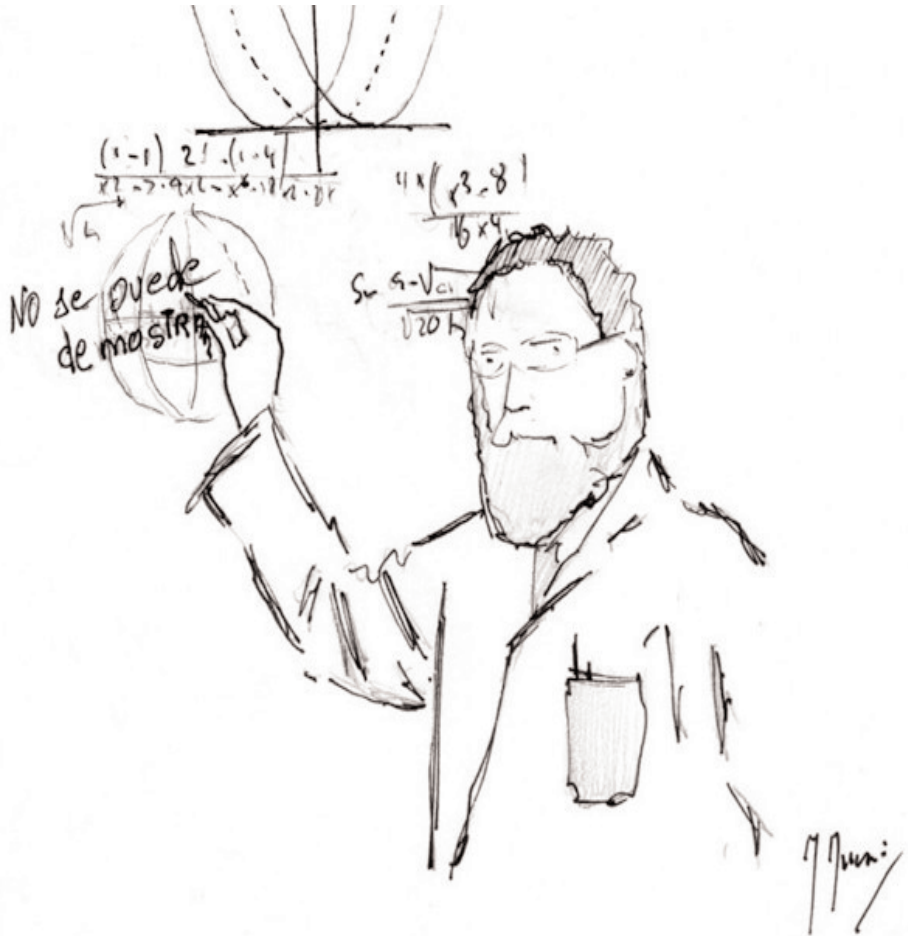
Claramente, podría pensarse que este fue el final del programa mesiánico que pretendía establecer la primacía de las matemáticas y del pensamiento lógico. Pero no fue así, ni mucho menos. Lo asombroso del caso son las oportunidades de investigación filosófica y técnica que supuso. Ideas, previamente no consideradas, sobre recursividad, paradojas, algoritmos e incluso conciencia deben su fundamento a las ideas de incompletitud de Gödel. Lo que, a primera vista parece como negativo, como la incompletitud eterna, resulta ser un ejercicio de imaginación fructífero. Paradójicamente, buena parte de la ciencia de la computación, un área en la que se podría pensar que es muy

dependiente de enunciados empíricos de lógica impecable, no podría haber progresado sin las ideas seminales de Gödel. Es más, la incoscognoscibilidad y la incompletitud son de las mejores cosas que le pueden ocurrir a la Ciencia.

Algunas cosas nunca pueden ser conocidas y esto no es cuestionable. No podemos conocer el valor exacto de pi, por ejemplo. Ciertamente esto tiene poco efecto práctico, incluso en Geometría. Los primeros pitagóricos se vieron sorprendidos cuando no pudieron soslayar la raíz de dos, que no podía ser representada precisamente sobre la recta numérica, que dejaba de ser discreta y pasaba a considerar distancias suaves. Es muy perturbador si el valor de la hipotenusa del triángulo rectángulo más simple, de lados unidad, no tenga sitio en la recta numérica de menos a más infinito. Hay una prueba más de esta aparente paradoja, consistente en la historia, aparentemente apócrifa de Hipassus, un pitagórico que mostró su demostración de esta extrañeza y fue declarado herético y ahogado por sus compañeros pitagóricos. Esto fue consecuencia desagradable de obtener la respuesta correcta. ¡Las Matemáticas eran más duras en aquellos tiempos!. Poco después los matemáticos desarrollaron más trabajos al respecto, proponiendo los números irracionales, no porque fueran no razonables, sino porque no se pueden expresar como una fracción, como relación entre dos números. Los números irracionales, junto con los racionales constituyen la recta de los números reales. Ahora podemos trabajar con ellos más o menos como con los racionales. Mucha gente no ha reparado en ello, porque no ha tenido que preocuparse lo más mínimo, y posiblemente nunca lo hagan.

Algunas cosas  
-u-ca puede ser  
co-ocidas.

*En la época de Pitágoras las Matemáticas tenían consecuencias más duras.*



## TRAZO 2.6

## Dedicándose a pensar

Mansfield trabajaba en el laboratorio londinense de Hofmann. El intenso trabajo del laboratorio no dejaba descanso a Mansfield. Sumido en las tareas, en ausencia de Hofmann, recibió la visita inesperada del Doctor por Darmstadt, August Kekulé, que pretendía mostrar a Hofmann un trabajo que había terminado. Trabajaba sobre los ácidos orgánicos que contenían azufre, aunque esto era solamente una excusa. Kekulé le hizo reparar a Mansfield que mientras que éste realizaba muchos experimentos, él, Kekulé, se dedicaba más a pensar. Aclaró, después, que le interesaba más que encontrar nuevas materias, comprender las ya halladas. Hablaron sobre el nuevo método Hofmann. Kekulé le puso como ejemplo de futuro la obtención del bencol, de una forma complicada, a partir del ácido benzoico, cuando había una forma muy sencilla que consistía en obtenerlo a partir del alquitrán de hulla. Pero la facilidad o la sencillez, interesa especialmente a la industria, no a la Ciencia. La pregunta científica resulta ser: ¿qué es el bencol? o debería serlo.

*Kekulé trabajaba sobre los ácidos orgánicos, que contenían azufre.*

*A Kekulé le interesaba más comprender las cosas ya descubiertas.*

*Las cosas sencillas le interesan a la industria, no a la Ciencia.*

Kekulé viene a representar al primer interesado en la Teoría de la Química, que no es sino la reflexión sobre los experimentos a los que trata de poner orden y concierto, discriminar entre las diferentes estructuras posibles y derivar sus propiedades según las estructuras y conformaciones de las materias que lo componen. Kekulé profundizó en el conocimiento químico, persuadido de que solamente con conocer la composición no era suficiente. Las molé-

*Para Kekulé no bastaba con conocer solo la composición.*

*La cuestión era la forma en que las moléculas se disponen en el espacio.*

culas, no son objetos muertos, sino que permanecen en constante acción, que funcionan. Los cuerpos requieren espacio. Pero no solo los cuerpos, sino sus partes también requieren espacio, por pequeñas que éstas sean. La cuestión, por tanto, era la forma en la que las moléculas y sus partes, se disponían en el espacio. Kekulé concebía que las moléculas tienen una parte superior y otra inferior y esto requería pensar acerca de cómo y por donde se unían los átomos en su espacio. Era una pregunta que valía para todas las moléculas, tanto el agua, como el benzol o un cristal de yeso. Eran las preguntas que se planteaba en aquel momento. Por eso dramatizaba en la conversación que mantuvo con Mansfield, ¿qué es el benzol? Los átomos, pues, no se movían sin orden ni concierto, sino con un movimiento regular. Los átomos se unían, formaban parejas, cadenas, etc. Todavía no se cerraban formando "círculos".

*Los elementos químicos se unen con el impulso del instinto.*

Los elementos químicos, decía Kekulé, vienen a ser como dos sexos opuestos, sin las restricciones de los humanos y obedeciendo solamente a las leyes de la Naturaleza. Se unen con el impulso del instinto elemental que existe en ellos desde toda la eternidad. Se atraen mutuamente, crean algo nuevo, como si se tratara de un nuevo ser. Los elementos químicos, decía, son comparables a cuerpos que tienen más o menos manos. Este número de manos es lo que se conoce con el nombre de valencia, que es el valor de combinación de un elemento, representado por el número de átomos de hidrógeno que puede retener dicho elemento. Así, el Cloro monovalente, tiene una sola mano que la extiende a la única mano que posee el monovalente sodio y forman una unión sencilla que se denomina cloruro sódico.



En cambio, el oxígeno tiene dos manos y en cada uno de ellos se apodera de un átomo de hidrógeno y forma el agua. El carbono, tiene hasta cuatro manos. Si coge dos oxígenos forma el dióxido de carbono. El carbono es el átomo más sociable de todos cuantos existen. Se presta a toda unión posible. Se coloca en filas, forma cadenas, anillos, de forma parecida a celdillas de abejas. Cuando se contemplan las estructuras de los compuestos de carbono, se siente la belleza y grandiosidad de las leyes de la Naturaleza. El átomo de Carbono es la pieza fundamental de la Química Orgánica. No hay ninguna célula viviente, ninguna forma orgánica, sin carbono.

*Cua-do se co--  
templa- las  
estructuras de  
los compuestos  
de carbo-o, se  
sie-te la belleza  
y gra-diosidad  
de las leyes de  
la Naturaleza.*

Kekulé, a mediados del siglo XIX, es el artífice del concepto de valencia, de "hileras" y "anillos" de carbono. Hasta Kekulé una nube ambigua había invadido las uniones entre los elementos. Ni Liebig, ni Berzelius, ni Wöhler, por citar a algunos de los destacados científicos en el campo de la Química, habían sido capaces de penetrar en aquella bruma y caracterizar el resultado. Un joven, Kekulé, había sido capaz de poner orden y concierto. Eso sí, "dedicándose a pensar"

*Kekulé es el  
artífice del con-  
cepto de valen-  
cia.*



by Requena .

## TRAZO 2.7

## Del movimiento en zig zag al número de Avogadro

En 1820 el naturalista inglés, Robert Brown descubrió un fenómeno consistente en un movimiento imperturbable, de zig zag, que efectuaban unas partículas pequeñísimas, como los granos de polen, suspendidas en un líquido, que en su caso era agua. En torno a 1903 esto formaba parte de lo que dio en denominarse partículas coloidales. Este tipo de movimiento recordaba, en gran medida, un movimiento irregular parecido, que se postulaba en la teoría de los gases en el que las moléculas recorrían un espacio, libremente, entre dos colisiones, y era el tamaño de las partículas y la temperatura las que ralentizaban el movimiento.

*Los granos de polen describían un movimiento constante suspendidas en un líquido.*

Cabe recordar que en la época en la que esto afloró, el ambiente científico (al menos el parisino, el de la Sorbona) presionaba con cuestiones filosóficas del tipo de si los científicos podían hacer uso de partículas pequeñas e invisibles como las moléculas o los átomos. Perrin, cuya formación científico-técnica procedía de la Escuela Normal de Paris, en la que recibió una sólida formación matemática de la mano de Marcel Brillouin, logró doctorarse con tan solo veintiséis años de edad con un trabajo experimental en el que abordó la demostración directa de que la carga de los rayos catódicos era negativa. Con otro trabajo sobre los rayos Roentgen, fue distinguido por la Royal Society de Londres, con el premio Joule en 1896. Ante la presión de los filósofos, Perrin respondió con un golpe genial, utilizando como referencia los

*Perrin. se doctoró con estudio sobre los rayos catódicos y demostró que la carga era negativa.*

*El microscopio simplificó enormemente el trabajo de los investigadores con microbios.*

*No había microscopio para moléculas y trabajar con ellas requería mucho ingenio.*

*Perrin fue el abanderado de la Química Física en la Sorbona.*

microbios de Pasteur y Koch y refiriéndose a un estado de la Ciencia cuando el microscopio todavía no se había inventado y tanto Pasteur como Koch podrían haber concluido también que las enfermedades contagiosas habían sido causadas por seres vivos pequeños e invisibles que infectaban a la víctima y se dedicaban a multiplicarse, antes de atacar a la siguiente víctima, etc. Naturalmente que se pudieron, también, desarrollar y tomar medidas, bajo la misma hipótesis, haciendo uso de toda clase de productos químicos conocidos sobre los materiales infectados. Sin embargo, el microscopio fue el que simplificó enormemente el trabajo y simplificó notablemente la investigación. En el caso de las moléculas, la situación fue la inversa, ya que no había todavía un microscopio que las pudiera hacer visibles, pero los físicos y los químicos construyeron un impresionante entramado consistente, tanto física como químicamente, basándose en que las moléculas estaban compuestas por átomos.

Kubbinga nos recuerda que Perrin fue el abanderado en la Sorbona de la Química Física, la nueva Ciencia que habían inaugurado Van't Hoff, Ostwald y Arrhenius. En 1903 publicó un libro bajo el título: "Traité de Chimie Physique. Les principes". Tuvo mucha relación con Pierre y Marie Curie y con Pierre Langevin. Todos ellos solían reunirse en la casa de los Perrin, donde el anfitrión solía tocar el piano, además de discutir sobre temas científicos, como la naturaleza del átomo, muy de actualidad en la época. Perrin también propugnaba por el sistema solar como modelo, con una carga positiva que le asignaba al sol y los planetas que exhibían carga negativa, pero no insistió demasiado en ello.

En esa época apareció una invención que prometía en los ambientes científicos experimentales, el ultramicroscopio de Siedentopf y Zsigmundy que permitía abordar el estudio de las partículas coloidales, entre las que se encontraban los gránulos de oro dispersos en vidrio. Pero el movimiento browniano acaparó la escena, con la teoría cinética de gases de fondo. En 1905 -1906 Einstein y Smoluchowski publicaron su análisis. El itinerario observado en forma de zig-zag de las partículas coloidales se podía deducir de la teoría cinética del calor (así la llamaba Einstein). Uno de los argumentos derivaba de la presión osmótica que cabía esperar de las suspensiones ya que, después de todo, la única diferencia entre las moléculas disueltas y las partículas suspendidas es su tamaño. Por tanto, cuando las moléculas se mueven al azar aquí y allá, es como las partículas que se moverían del mismo modo, solo es cuestión de escala. Algo similar a lo que ocurre en la difusión. La traslación y rotación de las partículas se analiza en términos de la física estadística que inaugurara Maxwell. Cualquier velocidad térmica de una partícula se puede calcular conociendo su masa y el hecho de que esté en estado gaseoso. Una vez que la consideramos suspendida en un líquido viscoso, aparecen fricciones que tienden a ralentizar el movimiento de la partícula. Si aplicamos la ley de Stokes entonces, podemos obtener una evaluación cuantitativa. Marian Smoluchowski emprendió en 1906 un estudio en otra dirección incorporando al análisis la importancia de las colisiones entre las moléculas de líquido y las partículas suspendidas. Aquí es cuando Perrin, decide entrar a investigar experimentalmente el movimiento browniano.

*El ultramicroscopio de Siedentopf y Zsigmundy entra en escena.*

*El itinerario de las partículas coloidales se podía deducir de la teoría cinética del calor.*

*La clave fue la analogía entre granos y moléculas..*

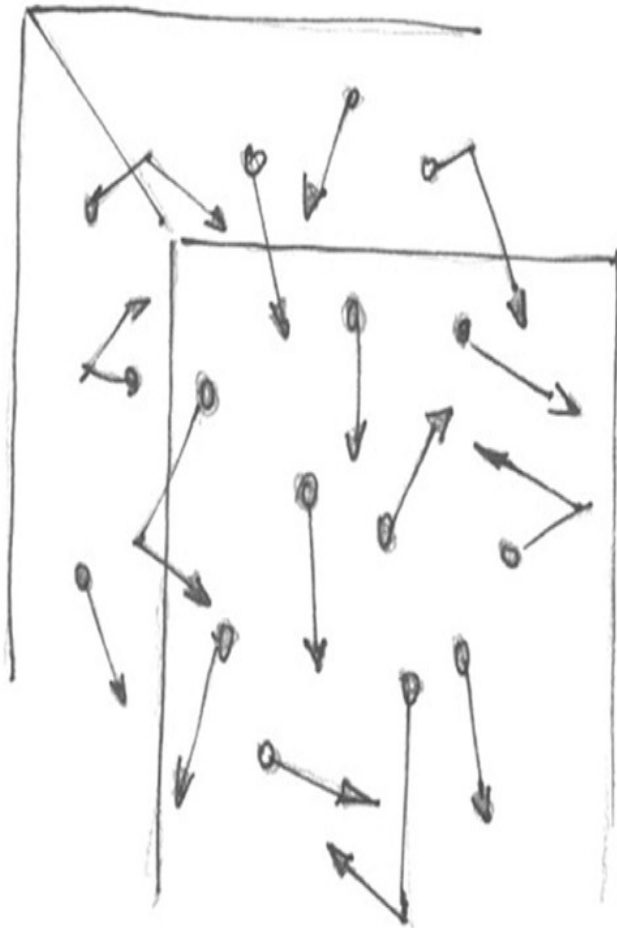
*Perrin determinó el número de moléculas que hay en una "gran molécula".*

Laplace en su magna obra "Traité de Mécanique Céleste" dedujo una fórmula para describir el decrecimiento observado de la presión del aire con la altura. En esencia, era una ley logarítmica:  $\ln(p_0/p) = C h$ , siendo C la constante de Laplace que se obtiene empíricamente efectuando medidas de la presión a alturas conocidas. Con esta fórmula Gay Lussac y Biot lograron medir la altura del Puy de Dome, concluyendo que era de 6977 metros por encima de París. Echando una resina en agua que forma suspensiones y se sedimenta en parte, obtuvo un gradiente vertical de intensidad de color que le recordaba la ley logarítmica de Laplace. Si la analogía entre los granos y las moléculas era cierta el número de gránulos debía descender con la altura según la ley de Laplace. El ultramicroscopio de Siedentopf y Zsigmundy le permitiría comprobar la fórmula. Tomó fotografías, contó el número de gránulos en el campo visual y estableció la variación con la altura. Los gránulos aparecían cada 10 micrómetros. La analogía gránulo - molécula parecía correcta. Si los gránulos existían, la analogía se completaba aceptando la existencia de las moléculas. Fue a través de estos gránulos que Perrin determinó el número de moléculas que hay en una "gran molécula", como la llamaban en la época al mol. Perrin lo estableció en  $6.7 \cdot 10^{23}$ . Perfectamente consciente de la importancia de lo que acababa de determinar, fue el promotor de nominar, generosamente, a esta cantidad con el nombre de un especialista italiano en gases: Amadeo Avogadro, que había fallecido en 1836.

Perrin recibió el Premio Nobel de Física en 1926. Formó parte del gobierno socialista fran-

cés (1936-1938), con la responsabilidad de la Secretaria de Estado de Investigación Científica y fue el creador del Centre National de la Recherche Scientific (CNRS), que tanta gloria ha logrado para Francia y para la Ciencia. Con la guerra mundial emigró a Estados Unidos en 1941, donde murió en 1942. La física y la Química del siglo XIX fue eminentemente molecular, al estilo de Laplace y Maxwell, Van der Waals, Biot y Perrin. Se buscaban argumentos que mantuvieran el interés por las moléculas que se entreveían en la base de todo. No iban desencaminados. Fueron a ciegas durante mucho, imaginando. Al final lograron la luz. Y desentrañaron buena parte de lo que se resistía a la comprensión humana. Gran momento científico, ¡sin duda!

*Se entrevió que  
las moléculas  
eran la base de  
todo.*



*by Requena*



## TRAZO 2.8

## Desequilibrio bioelectrónico

El tejido embrionario del que derivan los tejidos muscular y conectivo del cuerpo, así como los vasos sanguíneos y linfáticos, se denomina mesénquima. Deriva del mesoderma embrionario. La función de los tejidos conectivos es ocupar los espacios que dejan otros tipos de tejidos y el que se encuentra entre los órganos o los que sirven de soporte al organismo. Pero el tejido mesenquémico se distingue de otros tejidos conectivos porque sus células son indiferenciadas y porque tienen abundante matriz extracelular, constituida por agua, sales minerales, polipéptidos y azúcares.

*Las células del tejido mesenquémico son indiferenciadas.*

Las células de mesénquima están dispuestas de forma laxa, aunque conectadas entre sí por prolongaciones que forman una estructura reticular. El núcleo suele ser grande, con un nucleolo bien visible. En el embrión, la matriz es muy fluida y conforme avanza el desarrollo se incrementa el contenido en proteínas fibrosas. Puede pensarse que hace el papel de tejido conectivo embrionario, pero aparece, aunque en menor medida, en órganos de animales adultos. A partir de él se forman, en la etapa de desarrollo embrionario, los tejidos conectivos e incluso los cartílagos, huesos, sistema sanguíneo y linfático e incluso el músculo liso. Lógicamente se deteriora su capacidad conforme pasa el tiempo y se ve afectada por los hábitos de vida, pero su aportación al organismo no cesa durante toda la vida y se le atribuye la compensación de los desequilibrios ácido-base.

*La aportación del mesénquima al organismo no cesa durante toda la vida.*

*La acidificación o alcalinidad y los procesos redox son la clave de los desequilibrios.*

En un sentido amplio, hay que aceptar que el complejo sistema de procesos bioelectrónicos del organismo tiene en la alimentación un factor que le afecta de forma decisiva. La acidificación o alcalinidad y los procesos de oxidación y reducción, están en la base de todos los desequilibrios que denominamos enfermedades. La ingesta determina el escenario bioelectrónico en gran medida y parece razonable que protejamos y equilibremos el ámbito biológico, donde se desarrollan los procesos que mantienen la vida, controlando los parámetros bioeléctricos del medio externo que nos rodea.

*Cada alimento es único.*

Vincent ha llevado a cabo un estudio en el que analiza el organismo y el medio externo que está en contacto con él, para formular un modelo capaz de evidenciar los desequilibrios y predisposiciones, las energías asociadas a las terapias y la evolución de las enfermedades, control de sustancias medicamentosas y de aguas y la alimentación. Cada alimento es único y sus propiedades biológicas, sus peculiaridades nutritivas, deben tenerse en cuenta. Lo mismo ocurre con los medicamentos o las bebidas. La orina, la sangre y la saliva son los líquidos fundamentales del organismo. Los parámetros bioelectrónicos son de interés para analizar el mesénquima y deducir si está oxidado o reducido y cargado o pobre en sales minerales, lo que incide en la resistencia con la que se opone a que tengan lugar los trasiegos de materia. Según Vincent, los alimentos se distribuyen desde las componentes ácidas y oxidadas hasta las básicas y reducidas. Parece indicar, pues, que restablecer la normalidad pasa por reequilibrar los valores de la bioelectrónica para compensar, desde el exterior, los desequilibrios detectados en el interior.

*Los parámetros bioelectrónicos permiten analizar el mesénquima.*

El papel de la dieta, es pues, decisivo.

El agua suele llevar disueltas, gran cantidad de sales minerales y es el vehículo de las reacciones redox y si va demasiado cargada de electrolitos, bloquea el sistema renal, por ejemplo. Las sales suelen proporcionar un pH alcalino, favoreciendo los cálculos, renales y biliares. El agua no debería sobrepasar los 5 mg por litro, de nitratos. Un objetivo podría centrarse en otorgarle carácter prioritario a la "desacidificación" para lograr un equilibrio corporal. Ello conlleva que la nutrición debe realizarse en un ámbito concreto. Es probable, según estudios razonables, que en el grado en que se logre una "desacidificación" corporal, será menor la incidencia de enfermedades, incluso del cáncer y disminuir la incidencia de los procesos relacionados con la vejez. El balance final de la alimentación, debe ser alcalinizante. Siendo las proteínas componentes acidificantes, las de origen vegetal son menos ricas en purinas y, por tanto, más recomendables. Los alimentos granulados, desde los cereales hasta las semillas o legumbres, contribuyen al equilibrio. Son más recomendables las semillas que los aceites obtenidos de ellas. El carácter integral de los alimentos es una garantía del mantenimiento de la alcalinidad, además de aportar factores vitamínicos, oligoelementos y enzimas que activan el metabolismo. Las semillas oleaginosas aportan vitamina B que interviene en la regulación del sistema nervioso central y contribuye a la regulación de los parámetros bioelectrónicos, en especial del rH2, que define la carga electrónica que corresponde a un pH determinado y está relacionado con el potencial redox, ya que mide la actividad de los electrones liberados en la escisión del agua, lo que expresa, en gran medida, la capacidad y el

*La "desacidificación" debería tomarse como prioritaria para lograr el equilibrio corporal.*

*El carácter integral de los alimentos es garantía del mantenimiento de la recomendable alcalinidad.*

curso de las reacciones biológicas. Tiene mucho que ver con el grado de oxidación y reducción y denota la ralentización de la oxidación orgánica.

*Lo ideal es una dieta equilibrada.*

Lo ideal es una dieta equilibrada y la dieta Mediterránea es eso lo que aporta. Según se dice, es preferible la alcalinidad que la acidez. De lo contrario el riesgo de enfermedades llega a ser 20 veces mayor, también se dice. Otra cosa es que se analice la incidencia de un pH superácido (entre 1 y 3) como el que opera en el estómago, que desdibuja por completo matices de acidez o alcalinidad como los que se postulan.



## Desplazamientos

En los sistemas materiales, la energía total permanece constante, en consonancia con el medio circundante. Las fuerzas actúan en el sentido de disminuir la energía potencial de los cuerpos. Cuando ya no puede disminuir más, la fuerza debe ser nula. También la energía cinética es nula, porque la velocidad será cero. A esta ausencia de movimiento y de fuerzas que lo provoquen, lo denominamos equilibrio mecánico. Se caracteriza, por tanto, porque la energía mecánica es mínima.

*El equilibrio se caracteriza porque la energía mecánica es mínima.*

Los sistemas tienen restricciones o ligaduras. Un ejemplo es el suelo de un primer piso. Mientras exista, nada continuará disminuyendo su altura descendiendo al piso inferior, porque el del primero no lo dejará pasar, mientras permanezca. El suelo del primer piso es una restricción o ligadura. Controlan, establecen o posibilitan posiciones de equilibrio. En rigor, pues, un estado de equilibrio tiene un valor mínimo de la energía compatible con las ligaduras. Los cambios en las ligaduras modifican los estados de equilibrio.

*Los cambios de las ligaduras modifican los estados de equilibrio.*

Los fenómenos que involucran al calor, quedan fuera de la descripción mecánica de la Naturaleza, implicada en la mecánica de Newton. Las fuerzas de rozamiento siempre actúan en contra del movimiento, provocando que la energía se disipe al entorno. No se puede formular una ampliación del primer principio que incluya las fuerzas de rozamiento, por cuanto no queda almacenada y disponible para realizar trabajo útil. Pero hay que incorpo-

*Las fuerzas de rozamiento no están incluidas en el primer principio, dado que la energía que producen no queda almacenada y disponible para realizar trabajo.*

rarlo en un marco conceptual comprensivo. Álvaro Domínguez lo motiva con especial habilidad, haciendo un recorrido cronológico, conceptual y racional en su libro Información y entropía.

*La consideración del calor conduce a la Termodinámica.*

*La Termodinámica no se ocupa de la evolución del sistema en el tiempo.*

*La energía interna marca los estados de equilibrio.*

La consideración del calor conduce a la Termodinámica, que no es la Mecánica. Introduce dos conceptos fundamentales: energía interna y entropía. Formaliza la referencia de sistema, como una parte del Universo. Los sistemas son aditivos, constituyendo uno nuevo a partir de otros. Debe ser macroscópico, aunque no tan grande como para que se den efectos gravitatorios (no se aplica a planetas ni entidades superiores). Las ligaduras de los sistemas mecánicos, en Termodinámica, son las paredes, que controlan los procesos que tienen lugar (interacciones) y los estados de equilibrio que pueden haber. Si las paredes no dejan que tenga lugar ningún intercambio con el exterior, el sistema se denomina aislado. La Termodinámica no se ocupa de la evolución del sistema en el tiempo. Permite decir el estado final del sistema, cuando se alteran las ligaduras, pero no da detalles de cómo evoluciona el sistema del estado inicial al final. La Termodinámica introduce en el primer principio, tras la definición precisa de calor como magnitud medible, la conservación de la energía, aún en presencia de fenómenos de disipación. Cada estado tiene una energía interna, que tiene dos propiedades: 1) es aditiva y 2) se conserva. En un sistema aislado siempre tiene el mismo valor.

La energía interna marca los estados de equilibrio y predice los procesos que estarán prohibidos. Por ejemplo, si un sistema aislado tiene dos estados de equilibrio con diferente energía

interna, no puede haber un proceso que lleve de uno al otro. Para que la evolución pudiera darse, tendría que dejar de ser un sistema aislado. De esta forma el entorno realizaría un trabajo para inducir el desplazamiento. Si incluimos el entorno junto con el sistema, definimos otro sistema aislado distinto y la energía interna será la suma y también se conservará. Así, se puede concebir que lo que cambia la energía interna del sistema se compensa por un cambio de la energía interna del entorno, en sentido contrario. El trabajo es una forma de intercambio de energía y no una propiedad de los sistemas.

*El trabajo es una forma de intercambio de energía y no una propiedad de los sistemas.*

Así pues, el calor no está asociado a desplazamientos y no es mecánico. Pero el calor es una forma de intercambio de energía. El calor y el trabajo son equivalentes en cuanto al efecto que tienen sobre el sistema. En lo que difieren es en el proceso por el que tiene lugar ese efecto. Carece de sentido diferenciar qué parte de la energía interna es calor y cual es trabajo. El primer principio de la Termodinámica supone una generalización del principio de conservación de la energía mecánica, incorporando el calor como otra forma de intercambio de energía. Tras el advenimiento de la Mecánica Cuántica, el primer principio deriva de los principios de la mecánica aplicados a la estructura cuántica de la materia.

*El primer principio de la Termodinámica incorpora el calor como otra forma de intercambio de energía.*

Si se eliminan las paredes que aíslan a un sistema de otro que tiene diferente temperatura, fluye calor entre ellos, hasta que se igualan las temperaturas. Es el principio cero de la Termodinámica que emana de la observación directa. Junto con el primer principio se introducen los conceptos de temperatura y calor. No nos dice nada sobre si el proceso es espon-

*Principio cero de la Termodinámica.*



*El segundo principio introduce un valor de una magnitud, denominada entropía.*

*La entropía tiene un cierto carácter oculto. Es necesario cuantificarla.*

táneo o no. Dos cuerpos a distinta temperatura, en contacto, evolucionan, pasando calor del cuerpo más caliente al más frío. Es un proceso espontáneo. Si ponemos agua y alcohol juntos, se mezclan. Es un proceso espontáneo. Nunca ocurren los procesos contrarios: ni el alcohol se separa del agua, ni fluye calor del más frío al más caliente. El primer principio no los prohíbe, pero nunca ocurren. Solamente podrían darse, si se rompe el aislamiento del sistema y se fuerza a interactuar con el entorno externo, como ocurre en un frigorífico o en un destilador, que permiten enfriar y separar mezclas, respectivamente. Estas observaciones nos conducen a formular el segundo principio, que nos dice que cada estado de equilibrio corresponde a un valor de una magnitud que se denomina entropía, cuyas propiedades son: 1) es aditiva y 2) nunca puede disminuir en un sistema aislado; o crece o se mantiene constante. Esta segunda propiedad es la que permite predecir las transformaciones que pueden ocurrir en un sistema aislado: procesos irreversibles o reversibles, respectivamente.

Los conceptos de energía y entropía son abstractos, nada intuitivos. Todavía, la energía interna tiene conexión con los movimientos, velocidad, fuerza, que hacen más cómodo el concepto y permiten cuantificarlo en términos de magnitudes mecánicas básicas. La entropía, por el contrario, tiene un cierto carácter oculto, pese a estar en pie de igualdad en los principios de la Termodinámica. Es necesario cuantificarla. Los procesos cuasi-estáticos son un excelente caso para evidenciar el concepto. Se supone que el sistema evoluciona suavemente, de forma que siempre se encuentra en un estado de equilibrio. Estrictamente hablan-



do no podría ser así, por cuanto un estado de equilibrio no puede evolucionar, pero es una excelente aproximación. Clausius descubrió que si un sistema experimenta un proceso cuasi-estático a temperatura constante  $T$ , el cambio de entropía y el calor que intercambia con el entorno, cumplen la relación  $Q = T \Delta S$ . Si absorbe calor  $Q > 0$  y la entropía aumenta ( $\Delta S > 0$ ). Es decir, si medimos el calor (medidas calorimétricas) conocemos la variación de la entropía desde un estado de equilibrio a otro.

*Clausius descubrió que calor y entropía estaban relacionados.*

La reflexión que esto induce es: la energía interna puede cambiar mediante el trabajo y el calor; el trabajo es fuerza por desplazamiento, lo que supone cambio de la coordenada de posición. Si observamos la expresión de la entropía, el cambio de energía interna debido al calor, es igual a una "fuerza" (la temperatura) por un "desplazamiento" (el cambio de entropía). De esta forma, la entropía es la coordenada adicional que permite introducir los fenómenos térmicos en el primer principio de la Termodinámica. Pero, es más, según el segundo principio, la entropía de cualquier proceso espontáneo en un sistema aislado tiene que aumentar y al ser aislado tiene energía constante. Así pues, quiere decirse que de todos los estados de equilibrio compatibles con las ligaduras y con igual energía interna, el sistema se encaminará hacia aquél estado en el que la entropía sea máxima. Este es el principio de máxima entropía o, formulado de forma alternativa: la entropía del Universo siempre aumenta. Conclusión nada intuitiva. Se acepta con gran facilidad que la Cuántica es contrain intuitiva, pero la Clásica tiene páginas que no tienen nada que envidiarle. Al fin y al cabo, se trata de abstracciones, modelos, que pretenden rendir cuenta de las observaciones, que si

*La entropía es la coordenada que permite introducir los fenómenos térmicos en el primer principio.*

*La entropía del Universo, siempre aumenta.*

*El método científico se centra en la observación.*

deben ser objetivas. Con la salvedad de las distorsiones que nuestra propia percepción puede introducir, el método científico se centra en la observación. Solo el contraste con lo observado puede validar una hipótesis. Realmente, esto excluye del ámbito científico a muchas disciplinas que estructuralmente no pueden llevar a cabo ni la observación ni la contrastación. El ámbito científico no alcanza, ni mucho menos a todos los que incorporan la referencia. Debería revisarse el concepto, más que nada por el descrédito que, en muchos casos introducen.



## TRAZO 2.10

## Disidencia científica

La materia oscura es una de las cuestiones más intrigantes con las que se enfrenta la Ciencia actual. Hay muchos científicos implicados en su estudio, desde los que la propugnan, hasta los que la niegan. Todos buscan denodadamente muestras de su existencia. El modelo estándar de la Cosmología postula la existencia de materia oscura y energía oscura, que conjuntamente constituyen el 95.1 % del total del contenido de masa y energía del Universo. Hay otra corriente que enarbola la validez y vigencia de una dinámica de Newton modificada como alternativa que corrige la física newtoniana, de nuevo. El primero que figuró en esta corriente fue Max Planck, con la teoría cuántica, posteriormente Einstein con la teoría de la relatividad y en la actualidad el físico israelí Milgron que propone la dinámica de Newton modificada. Éste último, estima que no existe ni la materia ni la energía oscuras.

*La materia oscura es sumamente intrigante.*

*Milgron estima que no existe ni la materia ni la energía oscuras.*

Ciertamente el progreso de la Ciencia no es siempre lineal, como se desprende de lo que algunos cuentan. Desde el cuerpo de conocimiento que hay en un momento dado y mediante el método deductivo, la Ciencia impulsa el progreso. Pero en circunstancias muy concretas irrumpe el método inductivo y la intuición hace su aparición y lejos de equivocarse, supone un borbollón de agua fresca que se derrama sobre el acumulado de conocimiento, poniendo al descubierto nuevas apreciaciones, valoraciones y nuevos impulsos.

*El progreso de la Ciencia no es lineal.*

Milgron se inició en astrofísica en Cornell, tras

*Milgrom logró medir la velocidad de las estrellas que orbitan las galaxias espirales.*

*Para justificar la velocidad de las estrellas y del gas interestelar, una opción es agregar masa: la materia oscura.*

su trabajo inicial en Física de partículas en el Instituto Weizmann en Israel Trabajó en astrofísica de alta energía y física de la radiación de rayos X en el espacio, tras lo cual se sumergió en la dinámica de las galaxias, logrando medir la velocidad de las estrellas que orbitan las galaxias espirales. Se enfrentó a problemas de envergadura en tales medidas. Hay que comprender las rotaciones celestes. La Tierra orbita en torno al Sol, que a su vez, orbita con respecto al centro de nuestra Galaxia, que es la Vía Láctea. Dentro del sistema solar, el impulso gravitacional de la masa del Sol y la velocidad de los planetas están equilibrados. Las leyes de Newton describen por qué Mercurio, que es el planeta más próximo al Sol, orbita en torno a éste en torno a 180.000 kilómetros por hora, mientras que el planeta más externo, Neptuno, se desplaza casi a paso de tortuga con respecto al anterior, ya que solamente alcanza unos 18.000 kilómetros por hora. Se puede asumir que esta misma lógica se podría aplicar a las galaxias. Pero mientras que el radio de giro más pequeño lo predice la física newtoniana, el más lejano se revela que es mucho más rápido que el predicho. A finales de la década de los setenta los telescopios detectaron y midieron nubes de gas frío en las periferias de las Galaxias. Esas nubes orbitan en torno al centro de las galaxias cinco veces más rápidas que las estrellas y esto supone un crecimiento anómalo que complicó todavía más el enorme rompecabezas cosmológico. Una forma de intentar resolverlo es agregando masa. Si no hay suficiente masa visible en el centro de las galaxias, como para justificar la velocidad de las estrellas y del gas, una posibilidad es agregar más masa, aunque no la podamos ver, que es la denominada materia oscura.

Lo que señala Milgron es que le sorprendió la regularidad de la anomalía. Las velocidades rotacionales no fueron mayores de las esperadas, sino que eran constantes con el radio. Si hubiera materia oscura, la velocidad de las estrellas sería mayor, pero las curvaturas de la rotación, es decir las velocidades de rotación, son función del radio y deberían crecer o disminuir dependiendo de su distribución. Pero no era así y eso sorprendía. En 1980 en la estancia que realizó en el Instituto de Estudios avanzados de Princeton, Milgron reparó en el siguiente hecho: si la velocidad rotacional era constante, entonces quizás estamos contemplando una nueva ley de la Naturaleza. Si la Física newtoniana no predice las curvas que describen la rotación, quizás lo más razonable sería reparar, modificar la ley de Newton, en lugar de introducir una nueva clase de materia global para ajustar las medidas.

*Según Milgron, si la Física newtoniana no predice las curvas que describen la rotación, lo más razonable es modificar la ley de Newton, en lugar de introducir una nueva materia para ajustar.*

Si tratáramos de cambiar las leyes de la Naturaleza para que trabaje bien en nuestro sistema solar, necesitamos encontrar una propiedad que diferencie los sistemas solares de las galaxias. Milgron construyó una carta de las distintas propiedades tales como tamaño, masa, velocidad de rotación, etc. Especificó cada uno de los parámetros para la Tierra, el sistema Solar y algunas Galaxias. Parecía posible que, como las Galaxias son mucho más grandes que los sistemas solares, las leyes de Newton, quizás no trabajasen bien a grandes distancias. Si este era el caso, cabría esperar la rotación anómala en las Galaxias grandes, pero la cosa no era así. Examinó la aceleración, en especial el ritmo al que cambia la velocidad de los objetos. Suponemos usualmente, observando que los coches aceleran

*Según Migrom, necesitamos encontrar una propiedad que diferencie los sistemas solares de las galaxias.*

*Es en la aceleración donde se encuentran las diferencias.*

manteniendo la dirección, pero si cambian de dirección aunque no cambie la velocidad, aceleran. Lo mismo ocurre con los cuerpos celestes. Es en la aceleración en la que encontramos una gran diferencia, que justifica la modificación de la ley de Newton. La aceleración normal de una estrella que orbita con respecto al centro de la Galaxia es en torno a cien millones de veces más pequeña que la de la Tierra orbitando alrededor del Sol.

*Milgrom propone modificar la Dinámica de Newton introduciendo una nueva constante de la Naturaleza.*

La propuesta de la Dinámica de Newton modificada es introducir una nueva constante de la Naturaleza (al estilo de la constante cosmológica de Einstein) que se denomina  $a_0$ . Si recordamos la segunda ley de Newton en la que  $F = m a$ , que funciona perfectamente cuando la aceleración es mucho mayor que  $a_0$ , lo que ocurre con los planetas alrededor del Sol, y se sugiere que a aceleraciones significativamente menores, más bajas incluso que la de nuestro Sol alrededor del centro de la Galaxia, donde la fuerza es proporcional al cuadrado de la aceleración, es decir  $F = m a^2 / a_0$ . De esta forma la ley de Newton nos describe que la velocidad de rotación de las estrellas alrededor del centro de la Galaxia deberá decrecer conforme las estrellas se alejan del centro de masas. Si la dinámica de Newton modificada es correcta alcanzarán un valor constante, eliminando la necesidad de materia oscura.

Hace más de 35 años que Milgrom formuló la propuesta, que resultó ser un paradigma inconformista, en el más estricto ámbito de la estructura de las revoluciones científicas que formulara Thomas Khun. Costó que el conjunto de los científicos lo aceptaran como alternativa posible, factible y razonable. Una vez aceptada

la idea, el esfuerzo se centra en evidenciar que no es una idea trivial. Los primeros artículos resultaron rechazados y le costó mucho que le publicaran los artículos en los que desarrollaba la idea. Sorprendentemente el primer científico que conoció la propuesta fue otro físico disidente, Bekenstein que fue el primero en sugerir que los agujeros negros tendrían una entropía bien definida, después conocida como entropía de Bekenstein-Hawking. Fue un entusiasta de la propuesta y le animó desde el principio. Fue creciendo la oposición a la materia oscura. Todavía goza del consenso científico, pero ahora ya se concibe la dinámica de Newton modificada como una alternativa y que la cuestión no está ni mucho menos resuelta. En realidad, se han efectuado muchos experimentos para detectar la materia oscura, incluyendo los del Gran colisionador de Hadrones, varias misiones espaciales y multitud de experimentos. Todos han fallado y no se ha detectado directamente su existencia. En cambio, la dinámica de Newton modificada si ha logrado predecir la rotación de un número cada vez mayor de galaxias espirales como unas 150 Galaxias hasta la fecha. Claro que las predicciones se basan en medidas y dada la distribución regular de la materia visible, la dinámica de Newton modificada predice la dinámica de las Galaxias. Se mide la luz que proviene de una Galaxia para calcular su masa, pero es usual no conocer la distancia a la que está situada, de forma que no se sabe a ciencia cierta lo masiva que es la Galaxia realmente. Además, hay otras variables, como los gases moleculares que se pueden observar. Así pues, hay algunas Galaxias que no responden con exactitud a las predicciones de la dinámica de Newton modificada, pero es casi milagroso que se tengan suficientes datos sobre las

*La idea de Milgrom no es trivial.*

*No parece estar resuelta la cuestión de la materia oscura.*

*Es muy complicado disponer de los valores que se requieren para efectuar las predicciones.*



Galaxias para probar que la predicción es correcta.

*Incorporar la dinámica de Newton modificada a la Física de Einstein es un gran reto.*

Los que rechazan la propuesta de Milgron enarbolan su incompatibilidad con la Física relativista. En 2004 Bekenstein propuso la Teoría Gravitacional Relativista para la Dinámica de Newton modificada. Desde ese momento se han formulado varias propuestas. Incorporar la dinámica de Newton modificada a la Física de Einstein no es un reto mayor, se ha podido oír, pero solamente los que repiten como papagayos lo que otros dicen. Hay varias versiones relativistas de la dinámica de Newton modificada, pero persiste como reto sin resolver el poder demostrar que la dinámica de Newton modificada puede dar cuenta de las anomalías de la masa en Cosmología.

*La materia oscura no emitiría radiación, pero implica al material visible a través de la gravitación.*

De acuerdo con la teoría del Big Bang, el Universo comenzó como una singularidad uniforme hace 13.8 millones de años. Al igual que en las Galaxias, las observaciones que se han efectuado sobre la radiación de fondo cósmica del Universo primigenio, sugiere que la gravedad de toda la materia del Universo no es suficiente para formar las diferentes formas que usualmente vemos, como galaxias, estrellas generadas en los 13.8 millones de años. De nuevo se recurrió a la materia oscura diciendo que no emite radiación, pero involucra al material visible con la gravitación. Así que, a partir de 1980, el nuevo dogma cosmológico fue que la materia oscura constituye un sorprendente 95 % de toda la materia del Universo. Se mantuvo hasta que un nuevo bombazo nos estalló en 1998, cuando se dio a conocer que el Universo se expandía pero aceleradamente, no decelerando como se creía originalmente. Esto quiere decir que cualquier forma de mate-



ria, oscura o no, tendría que mostrar aceleración. De esta forma un nuevo tipo de entidad había que inventar: la energía oscura. Ahora, la cosmología acepta que el Universo está compuesto de un 70% de energía oscura, un 25 % de materia oscura y un 5% de materia regular.

*Para que todo encajara, hubo que inventar la energía oscura.*

La energía oscura es una magnitud a modificar, del mismo modo que la materia oscura. Al igual que en las Galaxias, se puede inventar un nuevo tipo de energía e invertir años tratando de comprender sus propiedades o como alternativa, modificar la teoría. Realmente la dinámica de Newton modificada apunta a una conexión profunda entre la estructura y dinámica de las Galaxias en cosmología, cosa que no ocurre en la Física aceptada. Las Galaxias son estructuras minúsculas en la escala del Universo y estas estructuras pueden comportarse de forma diferente sin contradecir el consenso cosmológico en vigor. Sin embargo, la dinámica de Newton modificada crea esta conexión, estableciendo un nexo entre ambas. Y esta conexión es sorprendente porque por cualquier razón, la constante de la dinámica de Newton modificada,  $a_0$ , es muy próxima a la aceleración que caracteriza al propio Universo. De hecho, la constante es igual a la velocidad de la luz al cuadrado, dividida por el radio del Universo.

*La dinámica de Newton modificada apunta a una conexión profunda entre la estructura y la dinámica de las Galaxias.*

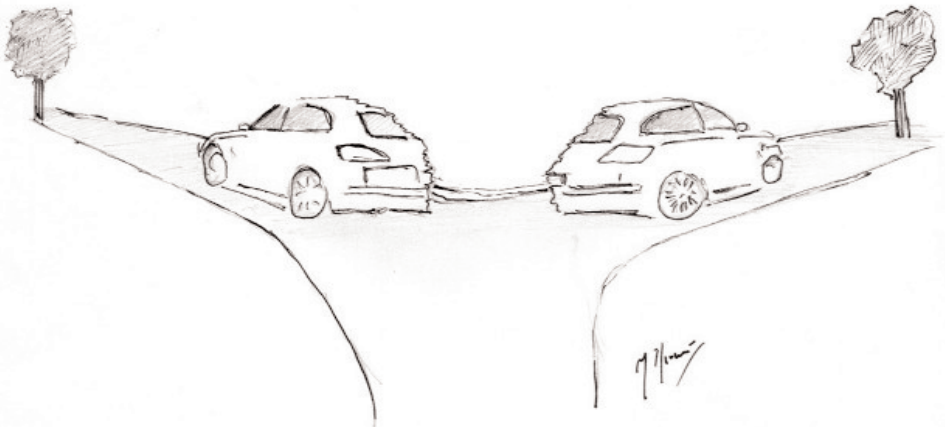
En el marco de la teoría unificada habría que decir algo sobre la dinámica de Newton modificada y la mecánica cuántica. De hecho, Milgron publicó en 1999 un artículo sobre el efecto del vacío en la dinámica de Newton modificada. Apuntaba que el vacío cuántico en el Universo puede producir un comportamiento

*Importancia del vacío cuántico.*

en las Galaxias en el que la constante cosmológica aparece en el entorno de la constante de aceleración,  $a_0$ . No cabe duda de que la propia formulación de la dinámica de Newton modificada se acerca a la teoría Física unificada. Implica un trabajo meticuloso de los científicos. Vale la pena seguir trabajando en esa dirección. La intuición puede indicar que es un excelente camino.

*La Ciencia describe vaivenes en su evolución.*

Ciertamente, contra lo que usualmente se puede pensar, la Ciencia no avanza por caminos rectos y directos. Describe vaivenes y traza meandros, también por la complejidad de los problemas que trata. Muchas veces lo que se conoce son posiciones científicas dominantes en un momento histórico determinado, lo que no excluye que hayan otras proposiciones, alternativas o formas de interpretar el Cosmos. Las disidencias son intrínsecamente interesantes, incluso necesarias para que la Ciencia avance. En todo caso, aquello que no corresponda al progreso, ira viéndose desplazado por otro paradigma más eficaz. Así ha ocurrido hasta ahora y así seguirá siendo, porque la Ciencia es estructuralmente así.



## TRAZO 2.11

## Dogmatismo científico

La medida de la Ciencia la dan los científicos. Colectivamente, claro está. La propuesta de un científico es examinada por otros científicos para darles el visto bueno (o no) y que se difunda su proposición. Es un buen mecanismo. Así viene ocurriendo desde tiempo inveterado. La personalidad de estos informadores (mal denominados referees) aparece descarnada en la valoración. Anónimo, sin estar delante el implicado, a distancia, incluso de países, tiene todos los requisitos para que el informador dé rienda suelta, incluso a sus más "bajos instintos". Si rozas con su campo de estudio, problema. Si no enfocas alguna cuestión exactamente como él la ve, problema. Hay mil razones para desencadenar problemas. No obstante, es el mejor procedimiento que hasta el presente se ha encontrado para seleccionar algo lo que se publica. Si se diera una cosa parecida en los medios de comunicación ordinarios, no nos veríamos en las páginas de los periódicos con muchas de las columnas que hoy se publican, sin el más elemental sentido de la exigencia y la coherencia. Las cosas erróneas, mentiras o desenfoces, no se darían con tanta profusión, tengámoslo por seguro.

*Importancia de los referees en las publicaciones científicas.*

En los años setenta tuve el honor y la suerte de conocer a Linus Pauling. Andaba terminando la Tesis Doctoral en Química Cuántica y estuve un tiempo en la Universidad Autónoma de Madrid, que visitó el célebre profesor y doblete en Premio Nobel: en el 54 en Química y en el 62 de la Paz, pero sobre todo por ser reconocido como uno de los científicos más notables

*Linus Pauling fue uno de los científicos más notables con que hemos contado.*

*Un dicho inglés reza: "no puedes enseñar nuevas cosas a un perro viejo".*

del siglo XX, junto a Einstein y reconocido como el químico más notable desde Lavoisier. Cuando le conocí iniciaba la veneratura, proyectando una enorme y descomunal figura. Por muchas razones era admirable, pero, también porque era capaz de analizar algunos elementos de su propia conducta no conforme con lo que desearía. Por ejemplo. Row, destaca una frase que se le atribuye, "*Pese a disponer de una mente intensamente analítica y racional, se ponía en manos de emociones irracionales, especialmente en los últimos años de su vida cuando su combatividad y capacidad de defensa superaban de forma creciente su brillantez y creatividad*". En inglés hay un dicho: "*no puedes enseñar nuevas cosas a un perro viejo*", significando lo costoso que resulta introducir nuevas ideas conforme se incrementa la edad. Los proverbios, refranes y sentencias no son, en modo alguno, necesariamente ciertos ni una fuente de acumulación de sabiduría. Eso sí, contienen elementos aplicables en general.

*Isaac Asimov rememora a Thompson, con brillante juventud y no tan brillante senectud.*

A Isaac Asimov se le atribuye la siguiente reflexión: "*a veces el destino del científico que en su juventud forjó nuevas vías y encaminó nuevos conceptos, en sus últimos días se ve desconcertado por nuevos desarrollos que no puede aceptar*". Incluía el caso de William Thompson, matemático victoriano que llegó a ser Lord Kelvin. En su brillante juventud, que discurrió en la Universidad de Glasgow, desde los 10 años de edad, escribió su primer artículo científico en la segunda década de su vida, adolescencia, llegando a ser profesor de matemáticas y filosofía a los 22 años, combinando ciencia pura y aplicada resolviendo problemas de electrostática, geomagnetismo e hidrodinámica, al tiempo que inventaba dispositivos. Pero, sin embargo, el final de su vida no fue tan

ilustrativo como el comienzo. Llegó a oponerse a la noción de radiactividad y que la energía se liberaba a partir del átomo. A Max Planck se le atribuye la siguiente frase: *“una nueva verdad científica llega a ser aceptada, no porque los oponentes queden convencidos, sino porque los oponentes mueren y la generación que emerge está familiarizada con el nuevo enunciado”*.

*Pragmatismo ideológico de Planck.*

Con este marco de fondo retornemos la reflexión del comienzo. Los recursos que se ponen en manos de los científicos y la aceptación de sus propuestas queda en manos de un sistema que informa, que incluye a los propios científicos. Nada que objetar. Cualquier otra forma de hacerlo resultaría más desacertada, incluidas las sugerencias de por dónde investigar, a las que quedan condicionados los recursos, al margen de la evolución de la Ciencia, y ya distorsiona suficiente por falta de consistencia en las propuestas que emergen de entornos espúreos. Estos grandes científicos que hemos referido, sin duda que hubieran formado parte del sistema de informe por pares, de haberse dado la convocatoria de proyectos de investigación en el siglo XIX y XX. Podrían haber rechazado fondos dedicados a radiactividad (en el caso de Kelvin). No se trata de que este tipo de cosas pueda ocurrir hoy. Pero no deja de ser cierto que los más influyentes, que son los más "maduros" pueden considerar a los más jóvenes como de falta de ortodoxia. La cuestión resulta ser ¿cómo se minimiza el efecto? La progresión de la edad y la experiencia, corren paralelas. No es solución definitiva incorporar como informadores a científicos jóvenes, porque también tiene problemas de selección y de implicación con otros científicos. No se trata de solucionar la cuestión, si de aler-

*No tiene fácil solución ni parece que pueda tenerla, siquiera.*

*Requiere amplio debate el papel de la edad.*

tar la necesidad de una amplia discusión sobre el papel de la edad y sus consecuencias.



## TRAZO 2.12

## Einstein y la belleza de las ecuaciones

Se le atribuye a Platón la afirmación de que Dios hace geometría. Para Aristóteles la belleza radicaba en la simetría. Los sólidos platónicos representaban la perfección del Cosmos. Para los antiguos griegos, tanto la Naturaleza como la obra humana de arte, exhibía la proporción áurea, que viene a concretar una idea tan simple como perfecta: *el todo se divide en dos partes tal que, la proporción entre la parte menor y la mayor es igual a la proporción entre la mayor y el total*. La gran profusión de ejemplos en la Naturaleza que obedecen a la proporción aurea hace pensar en la relación que debe haber con estructuras estables que concilian campos de fuerzas que operan en los sistemas naturales.

*Platón destaca la geometría y Aristóteles la simetría.*

No cabe duda de que muchos descubrimientos han estado guiados por la estética. La belleza y la armonía van de la mano en las culturas conocidas. Los mandalas plasman figuras geométricas que vienen a ser una representación de las fuerzas que operan en el Universo y que se emplean para la meditación. No nos podemos sustraer a una multitud de objetos con formas geométricas bellas que se representan mediante fórmulas matemáticas. No es de extrañar que en estos escenarios las teorías científicas incluyan un sentido estético, aunque pueda parecer un tanto extraño que el factor estético haya influido en el desarrollo de la Ciencia, y máxime si nos atrevemos a afirmar que el mismo Einstein estuviera inspirado en un concepto de simetría y belleza, para proponer la teoría de la relatividad. Pero lo cierto y

*La belleza y la armonía van de la mano.*

*Einstein utilizaba el criterio estético para seleccionar las soluciones de sus ecuaciones.*

*Ocurre como si la belleza requiriera la matemática para exhibirse.*

*Hay muchos ejemplos donde se evidencia la relación entre la belleza y la teoría.*

verdad es que Einstein utilizaba el criterio estético para seleccionar las soluciones de sus ecuaciones de campo.

La simetría en la Naturaleza es un elemento que se ha ido desvelando a los científicos al ir profundizando en el conocimiento de la misma, desentrañando las leyes que la gobiernan. En el fondo hay una conexión muy profunda entre la simetría geométrica y las leyes de conservación que la Física formula. Por ejemplo, en un sistema aislado, la energía, la cantidad de movimiento y el momento angular son invariables en el tiempo. La simetría implícita en las Leyes de la Mecánica de Newton, se puso de manifiesto con la reformulación matemática posterior de Lagrange y Hamilton. Ha ocurrido en muchas ocasiones, que han sido las formulaciones matemáticas las que han puesto de relieve las simetrías. Ocurre, como si la belleza requiriera la matemática para exhibirse. Y es precisamente por ello que en la Historia de la Ciencia, han sido las ecuaciones matemáticas las que ponen la belleza de manifiesto y sirven para indicarnos que se avanza en la dirección correcta. Es como si la formulación matemática de la teoría fuera la terminación de una obra de arte.

Hay muchos ejemplos que evidencian la relación belleza-teoría. Las ecuaciones de Maxwell, fusionando las teorías de campo eléctrico y magnético, son de una belleza extraordinaria. Qué decir de la simetría de grupos de Lee que impulsaron la cromodinámica cuántica. Dirac fue realmente lejos al afirmar que "*la belleza de una teoría científica es mucho más importante que el que una ecuación responda a todos los hechos experimentales*" Lo hizo al socaire de la descripción cuánti-



ca relativista del electrón, que predecía la existencia del positrón, una partícula semejante al electrón, pero con carga positiva, es decir, un antielectrón. La simetría de su descripción era superior a la de Schrödinger. Algunos científicos, como Heisenberg, calificaron la propuesta de Dirac como el capítulo más triste de la Física moderna. Finalmente, Anderson demostró experimentalmente la existencia del positrón. Hoy es sumamente útil al ser la base de la técnica no invasiva de diagnóstico denominada PET (tomografía por emisión de positrones). Dirac tenía razón.

*Dirac sostuvo que la belleza de una ecuación era superior al cumplimiento de los hechos experimentales.*

La teoría de la relatividad general es una teoría de la gravitación que soslaya la consideración de la acción de las fuerzas a distancia, base de la teoría clásica de Newton. Einstein, predijo que los rayos de luz en un campo gravitatorio, sufrirían una deflexión. Era difícil comprobar experimentalmente la propuesta, dado que se tenía que usar el Sol y las estrellas próximas, que únicamente son visibles durante un eclipse solar total, y aún así, el brillo de la corona no deja ver los rayos que se sitúan a distancias menores de dos radios solares. Se registraba una fotografía del campo de estrellas en torno al sol cuando acontecía el eclipse y se comparaba con otra fotografía nocturna de la misma zona, cuando el Sol no se sitúa entre las estrellas que se examinan y la Tierra. El primer intento fue en 1912 y el protagonista fue el director del Observatorio Nacional de Argentina, Perrine. Las condiciones meteorológicas impidieron que estudiara la desviación de la luz en un eclipse observable en Brasil. Posteriormente, hubo otro intento en 1914 por parte de Freundlich en el Observatorio de Berlín, pero el estallido de la primera guerra mundial impidió que se llevara a cabo el expe-

*Einstein suponía que una teoría bella no podía ser errónea.*

*Eddington comprobó la teoría de Einstein al experimentar que la luz sufría una deflexión al pasar cerca de un cuerpo masivo, como el Sol.*

rimento previsto en Crimea, donde fueron hecho prisioneros todos los miembros de la expedición y confiscados los aparatos que portaban. En 1916 Perrine, de nuevo, lo pretendió intentar en un eclipse observable en Venezuela, pero la escasez de medios lo impidió. En 1918 el eclipse tendría lugar en Washington, Curtis no pudo experimentar, dado que el equipamiento seguía en manos rusas, desde el incidente de Crimea y la calidad de la observación era muy deficiente, con lo que las imágenes de las estrellas fueron muy borrosas. Fue en el año 1919 cuando se dio la circunstancia favorable para determinar experimentalmente la predicción de la influencia de la geometría en la curvatura de la luz, aprovechando un eclipse de Sol que tuvo lugar el 29 de mayo de ese año. Para ello se montaron dos expediciones, una al Atlántico Sur dirigida por Eddington, que trabajaba en el Observatorio Real de Greenwich, como ayudante del astrónomo real Dyson y observaría un eclipse ideal que acontecía en una región del cielo repleta de estrellas brillantes que conforman el clúster de las Hyades, en la constelación de Tauro. Para evitar contratiempos como los de mal tiempo, que impidiesen la observación estelar, mientras que la expedición formada por Eddington y Cottingham, cuyo destino fue la isla del Príncipe, otra expedición, integrada por el Director del observatorio de Greenwich, Crommelin, junto a Davidson, iría a Sobral, a ochenta kilómetros de la costa de Brasil, libre de turbulencias atmosféricas, lo que permitiría efectuar tomas fotográficas útiles para la medición. El eclipse se iniciaría en el Pacífico oriental, pasaría a América del sur, luego al Atlántico sur y, finalmente, finalizaría al atardecer en Africa. El cielo se oscurecería solamente cinco minutos.

El 29 de mayo amaneció con tormenta y el eclipse en Príncipe se iniciaba a las dos de la tarde. Aunque dejó de llover una hora y media antes del eclipse total, no llegó a despejar totalmente. Aun así, no dejaron de hacer fotografías, hasta un total de 16, confiando en que alguna luz se filtraría a través de las nubes. La calidad de las tomas era deficiente y solamente en dos de ellas se veían hasta cinco estrellas. Midió escrupulosamente y le pareció detectar el desvío. Por otro lado, en Sobral, el otro equipo, dirigido por Crommetin y Davidson, realizó una observación más efectiva que la de Príncipe, obteniendo hasta 24 placas, en cada una de las cuales se veían entre siete y nueve estrellas. Por otro lado en el observatorio de Lick, que no pudieron llevar a cabo una expedición, por falta de recursos, no veían de buen grado, quedarse fuera del descubrimiento, dado que habían hecho en el pasado un gran esfuerzo (recordemos la expedición a Crimea) y disponían de instrumental para poder llevar a cabo los cálculos. Las placas que había hecho Curtis en el eclipse de 1918 podían examinarse. Campbell le incentivó a efectuar las medidas. Pese a que las imágenes eran borrosas, idearon un procedimiento para efectuar las medidas. En junio de 1919 dieron a conocer los resultados en un congreso celebrado en Monte Wilson, concluyendo que el efecto predicho por Einstein, no existía. Campbell lo notificó en una reunión especial de la Real Sociedad Astronómica. Cuando estas conclusiones llegaron a oídos de Einstein, se dice que afirmó con rotundidad: "*Los experimentos están equivocados, no es posible que una teoría tan bella, pueda ser falsa*".

*Cuando se le informó a Einstein que el efecto predicho por la teoría de la relatividad no se había observado, contestó que los experimentos deberían estar equivocados, una teoría tan bella no podía estar equivocada.*

Einstein esperaba los resultados de Eddington, que éste comunicó en un

*El experimento de Eddington corroboró la teoría de Einstein.*

*La belleza de las ecuaciones es indiciaria de la veracidad de una teoría.*

Congreso en Bournemouth, concluyendo una curvatura para la luz entre 0.9" y 1.8", lo que era consistente con las predicciones de la teoría de la relatividad. Es por ello que fue publicada la verificación de la teoría como "*la auténtica constitución del universo*". No obstante Einstein precisó en una publicación en *Naturwissenschaften*, que el valor que se exigía en la teoría era de 1.7" y que se requería mayor exactitud en el experimento. Las placas procedentes de Sobral daban como resultado 1.98", afectado por un error de 0.12". En otro conjunto de datos de Príncipe, Eddington obtuvo el resultado de 1.61", que pese a la incertidumbre era el valor más aproximado al predicho por la teoría de la relatividad. En consecuencia, estrictamente hablando no se había confirmado la teoría de la relatividad general. Eddington, convencido de la corrección de la teoría, descartó los datos de Sobral y promedió los restantes, llegando a una desviación de 1.75" que encajaba perfectamente con el pronóstico de la teoría. La noticia le llegó estando en casa de Ehrenfest, contenida en una carta que Eddington le dirigía al astrónomo Hertzsprung. Einstein le escribió al que fuera su gran amigo, Max Planck, diciendo "*es un regalo del destino que se me permita experimentar esto*". En una reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society, su presidente Thomson comunicó el descubrimiento de la relatividad general. "*No es el descubrimiento de una isla remota, sino de todo un continente de nuevas ideas científicas*".

Queda acreditado que la belleza de las ecuaciones es indiciaria de la veracidad de una teoría en la Ciencia, cuando trata de explicar los fenómenos de la Naturaleza. La estética establece como una especie de guía de búsqueda

de nuevas y poderosas simetrías subyacentes en muchos de los secretos que esconde la Naturaleza. Es cierto que hay muchas teorías que han sido bellas y no por ello ciertas. Hay demasiados contraejemplos, algunos, incluso recientemente, pero esa especie de respaldo a la veracidad de una teoría derivado de su belleza, es una constante en la Historia de la Ciencia. Seguramente se puede explicar a partir de la percepción de ambas: verdad y belleza, para las que el campo electromagnético es la interacción clave, descrito en un sistema de coordenadas de tres más una dimensión. A nivel macroscópico, ambas producen sensación de armonía al ser humano. El neurólogo Semir Zeki ha localizado la región del cerebro en la que se registran las experiencias de certeza y belleza, concluyendo que cuando son positivas, ambas coinciden en la región orbitofrontal del cortex. Nada es casual, ¡claro!

*Es posible que verdad y belleza estén relacionadas a partir de la percepción de ambas.*



## El camaleón cósmico

La energía solo se transforma. No se crea ni se destruye. Eso dice el Primer Principio de la Termodinámica. Toda la energía existente proviene del Big Bang: la propia creación del Universo. No sabemos qué clase de energía provocó el Big Bang. Pasada, presente y futura, son iguales en cantidad. Todo cuanto existe es energía. Como humanos, ingerimos energía en la alimentación. Comemos ciertas cantidades de calorías, que incorporamos y después las liberamos quemándolas. Para seguir viviendo debemos seguir comiendo para mantener el proceso. La gran revelación de Einstein fue que la energía y la materia son lo mismo, no dos cosas diferentes. Una se puede transformar en la otra. De esta forma, todo es energía. Si multiplicamos nuestra masa por el cuadrado de la velocidad de la luz, esa es nuestra energía. No somos algo diferente, sino sólo energía estructurada en el interior de un cuerpo. Los procesos relacionados con la putrefacción, que finalmente nos transforma, devuelve la energía estructurada al acúmulo común de reserva energética del Universo. Si las leyes de la Física son las mismas en pasado, presente y futuro, la energía no puede crearse, solo transformarse.

Distintos objetos pueden tener la misma cantidad de energía, pero no la misma potencia, que ya depende del tiempo en el que se libera aquélla. La rapidez a la que se libera es crucial. Una madalena puede tener 200 calorías, que es lo que se libera cuando ingerimos aquélla o el equivalente a 150.000 toneladas de TNT si aniquilamos la madalena con una cantidad

*Todo cuanto existe es energía.*

*La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma.*

*La rapidez con la que un cuerpo libera su energía es crucial.*

*El tiempo puede convertir un proceso amable en un acto violento.*

*La actividad humana consiste en interconvertir la energía.*

*La fusión nuclear libera la energía en las estrellas y se propaga mediante ondas electromagnéticas.*

igual de antimateria, de acuerdo con la ecuación  $E=mc^2$ . Pero, si se libera esa misma energía en una millonésima parte de un segundo, como ocurre cuando hacemos explotar un canuto de dinamita, el proceso se torna sumamente violento, tremendamente potente. El tiempo es capaz de transformar un proceso plácido y armonioso en violento y rotundo.

Las actividades humanas se centran en interconversiones de energía, constantemente. Hay que convertir las calorías de la pizza en energía interior de los humanos. Incorporamos el mundo exterior de forma permanente. Toda la energía que utilizamos en la Tierra, para iluminar nuestras casas, impulsar máquinas, desplazarnos, etc. procede del espacio exterior. Cada segundo nos llegan procedentes del Sol  $10^{26}$  vatios, lo que es equivalente a la energía liberada por 400.000 millones de armas nucleares en un solo segundo. El aprovechamiento de una pequeña fracción de esa energía es de vital importancia para la Humanidad. Las estrellas producen muchas formas de energía pero todo empezó con la gravedad. La materia "cae", es atraída por otra materia. Si soltamos una piedra a una cierta altura, la gravedad convierte su energía potencial en cinética, hasta que alcanza el suelo. En los comienzos del Universo, la gravedad reunió polvo y gas para formar las estrellas. La fusión nuclear es la que libera la energía de las estrellas, la denominada fuerza nuclear fuerte es la implicada en esos procesos. Esa energía liberada se propaga mediante radiación electromagnética, es decir, ondas de fotones, que es como se libera al espacio y se propaga por éste. Desde las ondas de radio, que son las de menor frecuencia, con mucho carácter ondulatorio, hasta la radiación gamma, que es muy ener-



gética y con carácter de partícula, constituyen el espectro electromagnético. Tarda 150.000 años desde el centro del Sol hasta su superficie, antes de que pueda llegar a nuestra superficie. Nuestra atmósfera bloquea las radiaciones peligrosas, UV y deja pasar las componentes del visible e infrarrojo. El Sol emite continuamente y nos proporciona energía térmica. Los humanos hemos aprendido a transformarla de forma inteligente, construyendo los paneles de semiconductores sensibles a la luz del Sol, que la transforman en electricidad. Desde una casa hasta un coche son capaces de utilizar energía que en su origen, procede del Sol.

*El Sol emite constantemente energía térmica.*

Las estrellas son transformadores de energía. La luz es muy importante. Nosotros la transformamos en otros tipos, como energía eléctrica en energía mecánica. Con ella se carga la batería que impulsará el motor eléctrico que mueve el coche eléctrico. Se transforma la luz del Sol en impulsar la velocidad: en 3.9 segundos, logra un vehículo de la marca Tesla, acelerar de 0 a 100, mucho más rápido que un motor de gasolina, porque proporcionan torsión máxima inmediatamente, mientras que los de gasolina requieren que se acelere.

*La luz del Sol se transforma en impulso.*

Las plantas verdes convierten la energía solar en fotosíntesis: alimento para todas las formas vivas. Es energía acumulada. La luz del Sol es transformada en azúcares. Cuando se rompen los enlaces de las moléculas, se libera energía. Los restos en descomposición y tras millones de años, se vuelven a transformar en carbón, petróleo o metano: combustibles fósiles, liberando la energía que fue absorbida hace millones de años y ahora almacenada bajo tierra. La energía fósil no es renovable, no sólo porque no se reconvierte o desaparece, sino que

*Las plantas verdes convierten la luz mediante la fotosíntesis.*

la forma que tiene no es útil, como ocurre, hasta el presente, con el calor residual. Su aprovechamiento está iniciándose.

*El Sol también puede producir energías letales.*

*El campo magnético protege la Tierra.*

*Un estallido de una supernova libera tanta energía como el Sol en toda su existencia.*

El Sol también puede producir energías letales. Un resplandor estelar grande, equivale a billones de bombas atómicas y una irradiación de rayos X que puede hacer desaparecer la vida. Si ocurre en estrellas muy lejanas, no nos llega, pero si fuera nuestro Sol provocaría consecuencias mortales. La energía magnética, liberada e irradiada, estalla y se canaliza sobre una región concreta de la superficie solar, lo que supone millones de grados procedentes de cantidades importantes de energía magnética. Cuando estalla, la energía térmica que se genera es tremenda. Si las partículas cargadas de alta energía nos alcanzasen, el campo magnético de la Tierra las rechazaría en su mayor parte. Es la protección de la Tierra: su campo magnético. Es quien detiene las partículas que nos llegan y que acabarían con la vida si nos alcanzase. Cuando se acerca una estrella a la muerte, no ocurre la finalización de la producción de energía. Al principio tiene lugar la fusión nuclear hasta que se consume el hidrógeno y cuando se acaba se colapsa, produciendo una explosión de supernova que libera tanta energía como el Sol durante toda su vida. Ocurre al colapsarse y emite cierta cantidad de luz, porque la gravedad triunfa sobre la caldera nuclear de fusión de la estrella. Se libera energía potencial gravitatoria y se canaliza en neutrinos y energía visible que observamos. Son las supernovas. Son los grandes explosivos del espacio. La mayor parte (99%) se convierte en neutrinos que son fantasmagóricos, apenas sin masa y atraviesan la materia sin alteraciones. Cada segundo 50 billones de ellos nos atraviesan sin que lo

percibamos. La probabilidad de que interaccionase con una partícula de nuestro cuerpo es muy baja. Durante mucho tiempo no se detectaban, pasaban desapercibidos. Se construyeron laboratorios bajo tierra y con depósitos de agua ultrapura para que interactúen con los electrones o los núcleos atómicos del agua y generan luz ultravioleta que puede medirse y permite detectarlos. ¿Podrían ser los neutrinos fuentes de energía en la Tierra? Es sólo un 3% de la energía del Sol la que toma forma de neutrinos. Desde luego, no nos resuelven la crisis de energía, además de la dificultad que entraña detectarlos.

*Los neutrinos son una fuente de energía.*

Convertir una energía en otra es la forma de almacenar y liberar la energía y han habido ideas muy audaces para controlarla, como ocurre con los agujeros negros. Mucha energía en volumen muy pequeño. Un agujero negro muy masivo es como 10.000 millones de soles, una masa de 10.000 millones de estrellas en un espacio muy pequeño. En Enero de 2008 un telescopio de la NASA detectó que la energía gravitatoria de un agujero negro supermasivo atraía a una estrella cercana y la engullía casi a la velocidad de la luz. Formó un disco creciente y girando en espiral alrededor del agujero negro y formando un chorro como una especie de soplete. Si se aprovechara la energía de rotación de un agujero negro, podría disponer de las baterías galácticas del futuro: la fuente de energía del futuro. Los agujeros negros son como un centro de reciclaje galáctico. Viviendo cerca de uno de ellos girando se podría obtener basura rotando con energía superior a la original, lo cual supondría una generación de energía. La energía de rotación de un agujero negro es peligrosa, ya que puede provocar efectos mortales. Los rayos

*Los agujeros negros son grandes almacenes de energía.*

*Los rayos cósmicos son una amenaza para el espacio y, también para la Tierra.*

cósmicos tienen mucha más energía que la que se puede producir en la Tierra. Los de más energía, denominados de ultra-alta energía, se desplazan a la velocidad de la luz. Su velocidad es comparable a la de lanzar una pelota de tenis. Si concentramos esa energía en una partícula subatómica, es mucha energía. Las Galaxias con agujeros negros supermasivos (núcleos galácticos activos) producen enormes cantidades de energía que lanzan partículas a velocidades muy altas en todas direcciones. Son como balines diminutos capaces de atravesar fuselajes y cuerpos humanos. Romperían también las moléculas de ADN, matando a las células. Los rayos cósmicos son una amenaza para el espacio y también si alcanzan la Tierra. Cada segundo bombardean la atmósfera de la Tierra cantidades de rayos cósmicos. Su velocidad es la clave. Su masa es muy pequeña pero su velocidad enorme, por lo que la energía cinética es tremenda. Cuando chocan con oxígeno e hidrógeno generan radiación UV que cae en cascada sobre la Tierra. Afectan a la exosfera. La energía de los rayos X y rayos cósmicos está muy disipada, pero pueden afectar a los aparatos electrónicos, cada vez más diminutos y sensibles. La energía en movimiento puede ser destructiva. La velocidad es importante.

*La energía geotérmica es una componente importante.*

Cambiando de forma la energía transcurre a través de la existencia desde el origen del sistema Solar. La energía geotérmica se sitúa a unos 6000 kilómetros por debajo de la Tierra. Una nube de polvo y gas, hace unos 4.500 millones de años, incluyendo núcleos radiactivos como uranio y torio y algunos se acumularon en el interior y calentaron el interior de la Tierra y hoy accedemos a esta energía denominada energía geotérmica. Liberan energía

en depósitos sobrecalentados, dispuestos para su transformación en energía eléctrica. Se proporciona agua a temperatura y presión elevadas, se genera vapor con agua y se aplica a una turbina. Cerca de las conexiones de capas o tectónicas, como el cinturón que rodea el Océano Pacífico y tantos lugares en el interior de la corteza terrestre, en cuanto nos situemos en zonas de actividad volcánica y tectónica. Requiere excavación profunda y es costoso. No solo ocurre en la Tierra este fenómeno. El satélite de Júpiter, IO, describe una órbita elíptica y genera mareas de diferente tamaño según esté cerca o lejos del planeta. El interior de IO es líquido y se calienta y genera geotermia. Por otro lado, atmósferas como las de Saturno y Júpiter son ventosas, muy tormentosas, no sólo por el Sol, sino por su calor interior. Se generan vientos y tormentas con velocidades del viento de 900 kilómetros por hora y más, que son muy altas. La energía gravitatoria genera viento en la superficie. Se convierte una energía en otra. La Tierra utiliza como fuente el viento, generado por las diferencias de calentamiento de la atmósfera, que originan que el aire circule. Procede del Sol, y los aerogeneradores impulsan a una turbina.

*Las atmósferas ventosas y tormentosas son una fuente de energía aprovechable.*

La energía impulsa el movimiento. La muerte cósmica es una energía fantasma, cuyo origen ignoramos. Puede destruir la vida en la Tierra. En 1990, con el telescopio Havel, se midieron las distancias de las estrellas en explosión, las supernovas. El universo no sólo se expande sino que se acelera la expansión, debido a la energía oscura. Existe en todas partes, se estima que es un 75% de toda la masa y energía del Universo. Es el componente más grande de la energía estimada del Universo. El océano representa el 75% de la superficie terrestre.

*La muerte cósmica es una energía fantasma.*

*Se oensaba que el Universo debía frenarse por la gravedad, pero no es así.*

*Con la aceleración de la expansión del Universo se producirá un enfriamiento y eso tendrá consecuencias.*

Es algo parecido. Se pensaba que el Universo se debía frenar por la gravedad. Entonces, la pregunta era si la gravedad era suficiente. Pero no solo no frena, sino que la expansión se acelera y se distancian las galaxias. La energía oscura es la que provoca la aceleración de la expansión. Al principio dominó la atracción de la gravedad. Pero a medida que se fue expandiendo, la cantidad de espacio que se llenó de energía oscura aumentó. Supongamos el Universo como un pastel de pasas y si incorporamos levadura, (las pasas son las Galaxias y la masa el espacio que se llena de levadura), cada vez que se aumente la levadura se expandirá más rápido, aun cuando las Galaxias no se vean afectadas, pero resultarán más alejadas. Con la aceleración se producirá un gran enfriamiento El Sol y todas las demás estrellas se apagarán y no quedará fuente de energía en la Tierra: dejará de existir. Pero no desaparecerá toda la energía, otra cosa es que el acceso será difícil. No será utilizable. La energía podría trasladarse a otro lugar, como alternativa. Siempre ha estado aquí, desde el origen del Universo y en cantidad constante, pero si se desvía a un Universo paralelo, por ejemplo, habría que considerar el efecto sobre este gran Camaleón que ha sido principio y, suponemos que fin, del Universo conocido. Todo un reto para la imaginación y la consistencia de las leyes de la Naturaleza.







## TRAZO 2.14

## El clima que tendremos

Admitiendo que el clima es un concepto complejo, el cambio del clima supone y deriva de los cambios de los elementos que lo configuran, de la modificación de sus valores, independientemente de la causa que origine la modificación. Precisamos establecer cuáles son los factores que configuran el clima, para poder analizar si están sufriendo o no cambios. No es fácil la definición de clima, porque pudiéramos entenderlo desde el punto de vista estadístico, como el registro del tiempo meteorológico a lo largo de un intervalo y en un determinado y concreto territorio. Tanto uno como otro factor, son susceptibles de extenderse más o menos ¿Da lo mismo el tiempo que consideremos o el área geográfica que analicemos? ¿Es igual considerar el Mediterráneo completo que España? ¿Es lo mismo el clima en Europa que el clima global?

*No es fácil la definición de clima.*

Normalmente, se consideran la temperatura del aire y la precipitación como las variables determinantes. Hay muchas otras, como viento, radiación, etc o combinaciones de ellas que, sin duda, lo describirán de forma más completa. A su vez, estadísticamente podemos estar pensando en obtener medias en un horizonte temporal determinado: año, mes, década, etc. Pero no cabe duda, de que no sólo son significativas las variaciones a lo largo del periodo considerado, sino también los fenómenos que se dan de forma extraordinaria y singular. Es corriente caracterizar el clima, sólo con la temperatura media del aire en la superficie de la Tierra, en cuyo caso, deberíamos

*Temperatura del aire y precipitación son importantes, pero otras variables también lo son.*

*La Tierra intercambia energía buscando el equilibrio energético.*

*Una fracción de la energía que recibe la Tierra se refleja al espacio.*

*Según Planck, cualquier cuerpo con temperatura por encima de cero, irradia energía.*

explicar por qué la temperatura media de la Tierra es de 15 °C. De todos modos, la importancia radica en los cambios de esta media, porque subidas significativas, implican cambio en la forma de vida de todos los seres vivos, que alberga.

La Tierra intercambia energía con el resto del Universo, buscando el equilibrio entre la energía que recibe y la que emite. Pero ese intercambio de energía solamente se puede llevar a cabo mediante mecanismos radiativos, por lo que hablaremos del balance radiativo. La Tierra recibe radiación solar de las regiones del espectro visible, infrarroja y ultravioleta. Dada la actividad actual del Sol y la distancia concreta a la que nos encontramos, la radiación media anual que incide en una superficie horizontal perpendicular es de 1367 W por metro cuadrado. Varía muy poco, por lo que se denomina constante solar. Ahora bien, no todo el flujo solar llega perpendicularmente a la Tierra y podemos considerar que, en cualquier tiempo, se expone solamente la mitad de la superficie, por lo que el valor efectivo se puede estimar en una cuarta parte de la constante solar, unos 342 W/m<sup>2</sup>. Pero, si solamente se absorbiera esta energía, la Tierra se iría calentando progresivamente. Ocurre que una fracción (albedo) se refleja al espacio, dejando de incidir en ella y calentarla. Además, según Planck, cualquier cuerpo que se encuentra a una temperatura por encima del cero absoluto emite radiación, con lo que la Tierra emite constantemente radiación, eso sí, de mayor longitud de onda (infrarroja) que es la llamada radiación terrestre.

Si el clima dependiera del balance de la radia-

ción solar neta (diferencia entre la que proviene del Sol y la reflejada) y de la radiación terrestre emitida, la temperatura sería muy distinta a la actual. Esto nos hace considerar que precisamos un segundo elemento significativo en la ecuación, que es el que proviene de que la atmósfera es un conjunto (mezcla) de gases que la envuelve, y que es lo que llamamos aire. Además, el aire mantiene partículas en suspensión, que se presentan en distinta abundancia según los sitios, y ahí tenemos las nubes y los aerosoles. Las nubes son diminutas gotas de agua líquida en suspensión o heladas, si están a altura suficiente, que se mantienen en el aire por su pequeño tamaño, oscilando entre 0,2 y 0.3 mm de diámetro y si alcanzan entre 1 y 5 mm entonces precipitan. Las nubes afectan el balance radiativo, porque reflejan la luz solar, de forma eficiente. El albedo con nubes, pasa a ser de un 30%. Si la radiación reflejada es mayor que la absorbida, como puede ocurrir por efecto de la presencia de las nubes, la temperatura podría descender bastantes grados por debajo del cero.

Hay otro balance a considerar. Algunos gases que constituyen el aire absorben radiación visible, ultravioleta y/o infrarroja, como ocurre con el agua, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, ozono, etc. La atmósfera absorbe radiación terrestre, además de reflejar la que viene del Sol. Este es el efecto invernadero. La eficiencia de los distintos gases es diferente. Así pues, las nubes reflejan radiación solar y absorben la radiación terrestre. Algunos aerosoles reflejan radiación y otros son absorbentes eficientes de la radiación terrestre. Si tenemos en cuenta estos efectos, la temperatura media que obtendríamos sería de unos 15 °C.

*Si el clima dependiese exclusivamente del balance de radiación, la temperatura sería muy diferente a la actual.*

*Las nubes reflejan la luz solar.*

*Algunos gases de la atmósfera absorben radiación: efecto invernadero*

*Desde el comienzo de la era industrial, el crecimiento de la concentración de los gases de efecto invernadero ha sido exponencial.*

Si analizamos la evolución de las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno a partir del aire ocluido en el hielo, según el informe del IPCC (Ciais et al., 2013), como propone Josep Calbó en la revista Método, comprobaremos que, hasta el comienzo de la era industrial (1750) se mantienen las concentraciones constantes, en torno a 280 ppm (partes por millón), 600 ppb (partes por billón) y 260 ppb, respectivamente, para dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. Pero, desde el comienzo de la era industrial hasta ahora, el crecimiento ha sido exponencial, superando las 390 ppm, 1800 ppb y 330 ppb.

*El clima ha variado a lo largo de la existencia de la Tierra.*

El clima ha variado notablemente a lo largo de toda la existencia en la Tierra. Los cambios están íntimamente relacionados con el cambio en la radiación solar emitida por el Sol y los cambios de la composición de la atmósfera. Una vez instaurada la fotosíntesis en la Tierra, se ha restado CO<sub>2</sub> de la atmósfera, mediante la fotosíntesis, al tiempo que se ha emitido a ella el oxígeno, que se ha convertido actualmente en el segundo gas más abundante, tras el nitrógeno. Si nos limitamos a, por ejemplo, el último millón de años, en que el Sol apenas ha cambiado y la Tierra ha mantenido una distribución de tierra y agua, parecidas a las actuales y que los gases atmosféricos, se han mantenido en una composición parecida, los cambios acontecidos han sido los ciclos glaciación - interglaciación. Es decir, periodos más fríos que el actual con duración de unos 100.000 años, en los que el nivel del mar se situaba muy por debajo del actual y unos periodos más breves, de unos 20.000 años con clima parecido al presente. Estos ciclos tienen que ver con

ciclos de la órbita terrestre descrita alrededor del Sol, modificando excentricidad, oblicuidad (inclinación del eje de la Tierra con respecto a la eclíptica) y la precesión de los equinoccios. La combinación no modifica, de forma sustancial, la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra, pero sí varía su distribución en los hemisferios y a lo largo del año.

*Los ciclos climáticos tienen que ver con los de la órbita terrestre.*

Una disminución de la radiación incidente en los meses de verano en el hemisferio norte, puede estar en el origen del enfriamiento global, que puede acabar provocando una glaciación, aunque haya que recurrir a una superposición de varios efectos para justificar el hecho. El primer efecto a considerar es la formación del hielo y su incidencia en el albedo. Si en verano llega menos radiación a la Tierra, por cualquier circunstancia, se funde una fracción menor de la nieve caída en invierno. Mayor cantidad de nieve supone un aumento del albedo, significando que se absorbe menos radiación solar, lo que incrementa el enfriamiento. Otro efecto concomitante proviene de los gases de efecto invernadero. Por un lado, al iniciarse el enfriamiento, disminuye el contenido de vapor de agua de la atmósfera, al reducirse la evaporación y también el punto de saturación del vapor de agua en el aire, al disminuir la temperatura (recuérdese lo que justifica que se empañen los parabrisas de un coche). Por otro lado, el CO<sub>2</sub> se absorbe mejor por los océanos, tanto debido al cambio de la solubilidad (la solubilidad de un gas disminuye al aumentar la temperatura), como por el aumento de la actividad fotosintética del fitoplancton. En suma, al iniciarse un enfriamiento, acontece que disponemos de menos vapor de agua y CO<sub>2</sub>, lo que viene a implicar menor

*Una disminución de la radiación incidente en verano en el hemisferio norte puede causar un enfriamiento global.*

efecto invernadero y, por tanto, más enfriamiento. Es decir es un bucle que se refuerza a si mismo, el denominado bucle explosivo.

*La circulación oceánica es un elemento a considerar.*

Otro elemento adicional a los considerados es la circulación oceánica, que dicen que es muy sensible a la temperatura del Atlántico Norte. Es esta circulación la que globaliza el enfriamiento que se inicia en un hemisferio, el norte. Todas estas circunstancias se invierten al final de los periodos glaciales y dan pie a los periodos interglaciares, como el actual. Aunque es cierto que el clima no se mantiene constante. Por ejemplo, al final de la última glaciación, cuando la temperatura media había aumentado a niveles similares al actual, la Tierra se volvió a enfriar de forma súbita, y aún no está clara la explicación, se apela a razonar con la circulación oceánica, debilitada por la aportación de agua dulce y fresca proveniente de la fusión del hielo en el Atlántico Norte como factor decisivo. De hecho entre los siglos XIV y XIX el enfriamiento fue de 1-2 °C debió ser global, aunque documentado sólo en Europa. De nuevo las causas tienen que ver con la radiación solar. El denominado efecto Maunder establece la relación con las manchas solares, que justifica el llamado mínimo de Maunder, cuando transcurren unos decenios en que no se presentan (1645 a 1715), lo usual es observar entre 40.000 y 50.000 manchas y durante esos 30 años solamente se observaron 50, lo que indica disminución de actividad solar y una composición atmosférica que cuando hay actividad volcánica y se lanzan aerosoles a la atmósfera, se refleja más radiación al espacio. Los cambios habidos en los últimos decenios han provocado la constitución del Grupo Intergubernamental de Expertos en el Cambio Climático (IPCC). La observación de la tempe-

*El efecto Maunder relaciona el cambio climático con la evolución de las manchas solares.*

raturas, disponibles de manera global, revelan que en el periodo 1880-2012 la temperatura media ascendió 0,85 °C. Es más, esta acumulación se ha concentrado en los últimos cuarenta años. Cada uno de los tres decenios anteriores ha sido más cálido que el anterior y, a su vez, todos ellos con más cálidos que el último milenio. En este caso, no ha habido cambios en la radiación solar incidente, sino sólo en la composición atmosférica, aumentando la concentración de los gases de efecto invernadero y en particular de CO<sub>2</sub>. En efecto, como señala Josep Calbó, el CO<sub>2</sub> se ha incrementado de forma continua desde la revolución industrial, como resultado del empleo de combustibles fósiles y como demuestran las medidas directas. Los datos dicen que, recientemente, la concentración de este gas ha superado las 400 ppm que supera en mucho a los 280 ppm del año 1800 y es un nivel que no se había alcanzado jamás. Pero el CO<sub>2</sub> no es el único gas con efecto invernadero que la actividad humana pone en la atmósfera. Hay otros que, aunque provoquen una magnitud menor, se suman al efecto provocar la absorción de más energía de la que se libera. El metano, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, son buenos ejemplos.

Al aumentar la temperatura hay otros mecanismos que inician su andadura sintonizados con los ya señalados. Incremento del vapor de agua de la atmósfera, disminución de la cubierta de hielo (menor albedo) y la aportación de propia actividad humana que provoca otras emisiones en forma de partículas (aerosoles) que, mayoritariamente, tienden a reflejar más radiación solar que la radiación terrestre que absorben. Además concurren otros mecanis-

*En el periodo 1880 a 2012 la temperatura media registrada subió 0.85°C.*

*La concentración de CO<sub>2</sub> supera las 400 ppm cuando en 1880 era 280 ppm.*

*Hay otros gases que provocan también el efecto invernadero, además del CO<sub>2</sub>.*

*La actividad humana vierte partículas que reflejan la radiación solar.*



*No hay dudas sobre el origen antrópico del cambio climático actual.*

mos como la cantidad y tipos de nubes que podrían, también al mismo tiempo estar contribuyendo a moderar el enfriamiento. Sea como sea, no hay dudas sobre la causa antrópica del cambio climático actual, dado que la única forma de conseguir respuestas cabales de los modelos climáticos es incluyendo las emisiones de los gases de efecto invernadero y los aerosoles, porque si solamente se consideran las causas naturales no se puede simular el calentamiento actual razonablemente.

*Los cambios de uso del suelo inciden también.*

Los cambios de uso del suelo que modifican, también el albedo, provocados todos ellos por la actividad humana, están influyendo en el clima y todo indica que lo continuarán haciendo si no lo remediamos. La cuestión abierta es esta: ¿cuál es el cambio climático futuro al cual la humanidad será capaz de adaptar sus estructuras socioeconómicas y cuáles serán las medidas capaces de mitigar las emisiones que pondrán en práctica una vía para superar un calentamiento intolerable? Paris tiene la palabra. Los antecedentes no son muy halagüeños. Paris terminará proponiendo, otra cosa es que sus propuestas sean las apropiada y en el tiempo justo. Como nunca, anteriormente, en sus manos y voluntades, que son las nuestras, está el clima que tendremos.

*El clima que tendremos es el que forjemos desde los acuerdos.*







## El fin del Universo

El espacio y el tiempo tiene un final. Cuando se agote la energía ¿Qué ocurrirá? Se pensaba que el Universo envejecía expandiéndose. Pero ahora se ha concluido que se expande con violencia. La expansión enfría el Universo y despedaza galaxias. El otro extremo es la gravedad que tiende a unirlo todo. ¿Quién vencerá? Puede ser la muerte fría: siempre se expande. La otra es, que si se equilibra se detendrá al llegar al equilibrio. En esta otra alternativa vence la contracción, la gravedad. ¿Hacia dónde va el Universo?

*Muerte fría, equilibrio y contracción.*

Al principio de la expansión, de la creación de todo, del origen de la gravedad, hace 13.800 millones de años, un punto comenzó a expandirse: el denominado Big Bang. Creó todo el espacio (espacio-tiempo) y la materia. Todo cuanto tenemos alrededor. Creó, de la nada, todas las galaxias. Sin la expansión, con demasiada gravedad, el Universo inicial no se hubiera desarrollado. El Universo ha dado tiempo a que nos formemos. Durante 13.800 millones de años vivimos en una especie de equilibrio entre gravedad y expansión. En los años 20 del pasado siglo, se concluyó que cuánto más materia tengamos, más gravedad. ¿Cuál es la densidad crítica? La respuesta es: 5 átomos por metro cubico. Por ejemplo, de hidrogeno. Si introducimos más de 5 átomos por metro cubico, se colapsará el Universo. Con menos de 5 continuaría expandiéndose. Después, a los astrónomos les pareció que la materia del Universo era suficiente para mantener la densidad critica. Parecía que avanza-

*Sin la expansión inicial no se hubiera formado el Universo.*

*La densidad crítica es 5 átomos por metro cúbico.*

*En los 70 del siglo pasado se conjeturó una materia cinco veces mayor que la materia cono-*

*De la densidad de materia oscura, depende el futuro del Universo.*

*La materia oscura no se puede ver.*

*La materia oscura puede multiplicar por cinco la materia normal.*

ba al ritmo apropiado para envejecer. Pero, posteriormente se advirtió, en los años 70, que el Cosmos tenía una materia que oscurecía todo a su paso y era cinco veces mayor que la materia conocida, tras estudiar la materia predecible del Universo. La masa del Sol controla las orbitas de los planetas. Las Galaxias hacen algo parecido, atrayendo a las estrellas en orbitas "circulares". Pero las orbitas medidas por los astrónomos, las galaxias, giraban demasiado rápido. Incluso considerando un agujero negro en su centro. Una fuente adicional atraía las Galaxias, pero los telescopios no indicaban nada en ninguna dirección. No había nada ni la reflejaba ni la bloqueaba y por eso se dio en denominarla: materia oscura. Es como una partícula nueva que se llama materia oscura. De su densidad en el espacio depende el futuro del Universo. Pero no se puede medir. Todo lo que refleja luz permite que se reconozca e, incluso, a otros que se interponen, también. ¿Como se puede ver, sin luz, la materia oscura? Solo por el efecto de la llamada lente gravitacional, curvando la luz. Una copa de vino sirve de ejemplo. El vidrio del vaso distorsiona la luz al pasar a su través por el vaso de vino. La luz será distorsionada al pasar cerca de un elemento de materia oscura.

En el Universo la materia oscura puede multiplicar por cinco la materia normal. Las galaxias luminosas se concentran donde la materia oscura es más densa. La materia oscura determina la evolución del Universo. Es como si después del big bang se formara la materia oscura y así fuera la matriz que permitió la creación de la Galaxia. Mantiene unido al Universo, pero puede amenazar con destruirlo. Posee mucha gravedad y está ralentizando la

expansión del Universo. Puede favorecer que gane la gravedad: la gran implosión. Se estancaría unos instantes y la gravedad originaría un cataclismo: las galaxias que se alejan empezarían a avanzar hacia nosotros, contrayendo el espacio y la gravedad crecería y la temperatura aumentaría. Los planetas chocarían contra a Tierra y los agujeros negros se eliminarían entre sí. Resultaría imposible la vida como la conocemos. Una gran implosión podría llevarnos a un nuevo comienzo, según algunos. Hablaríamos de un ciclo universal que se repite para siempre. Un nuevo big bang.

*La materia oscura ralentiza la expansión del Universo.*

*Una implosión podría llevarnos a un nuevo comienzo.*

Pero se descubrió otro tipo de fuerza que parecía llevar todo a un sitio distinto. Cuando se midió la historia de la expansión del Universo. Filipenko, y Perlmutter, por separado, midiendo la velocidad de galaxias lejanas, midieron una estrella que explotó a millones de años luz, una supernova. Ardió con 5.000 millones de veces más luminosidad que nuestro Sol y midieron como se modificaba la luz, que se desplaza al rojo y determinaron la variación, como consecuencia de la explosión. La supernova debería volverse más roja que las más cercanas. Midieron 52 supernovas y los resultados decían que no se ralentizaban, sino que se aceleraba. La expansión se iba acelerando, impulsada por algo misterioso. La aceleración parecía retar a las leyes de la Física. La nueva energía parecía salir de la nada. En el espacio hay una energía intrínseca y esta energía produce una especie de antigravidad. Le dieron el nombre de energía oscura. Es el misterio de la física. ¿Cuánta había? Dominaba por 3 a 1 a la materia del universo. Es la energía emergida de la nada y al repeler las galaxias se creaba más. La energía oscura parecía tirar por tierra la

*Filipenko y Perlmutter, por separado concluyeron en la existencia de la energía oscura.*

*La energía oscura parecía tirar por la borda la gran implosión.*

*Mientras no entendamos la energía oscura, no sabremos el final.*

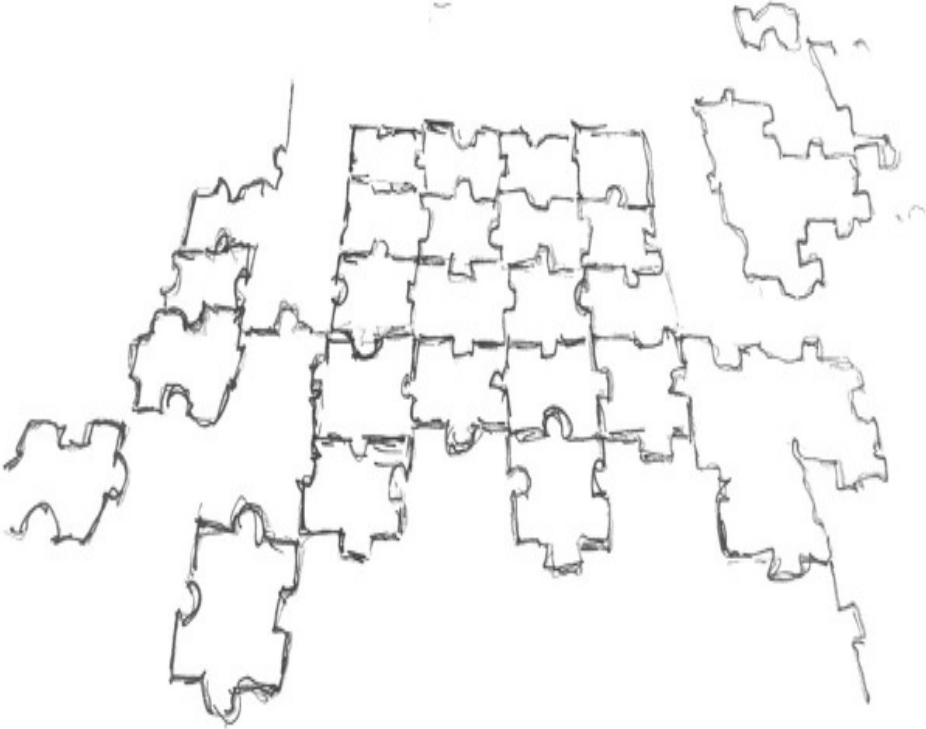
gran implosión. Se multiplica con la expansión al aumentar el volumen. Si la energía oscura domina la expansión, sería tan grande que nuestros cuerpos acabarían desgarrándose, Una a una las galaxias se volverían inobservables. 70 millones de años transcurrirían antes de desgarrarse los sistemas solares y después los planetas, las personas, los átomos y todo a gran velocidad. En pocos minutos se despedazaría todo. Solo quedarían los fotones individuales que irían disminuyendo hasta, quizás, dejar de existir. El vacío sería desocupado del espacio. Esto supondría un gran desgarramiento o una gran congelación. Pueden ser los dos finales. La energía oscura estaría por medio. Hasta que no la entendamos no sabremos nuestro final. Lo ideal sería disponer de una gravedad adecuada y con energía oscura que no provocara que se despedace. Todo parece indicar que habrá una gran congelación. Las galaxias se expanden, pero permanecen intactas. Dejarán de formarse estrellas nuevas. Dentro de 100 billones de años dejarán de existir las más grandes, supernovas y se convertirán en agujeros negros. Las medianas morirán a continuación, cuando se consuma la fuente de hidrógeno y se hinchará y se tragará a sus propios planetas. Consumido el combustible, se contraerá por la gravedad en unos pocos kilómetros y se convertirá en una enana blanca, como si fuera un diamante o carbono comprimido. Las estrellas seguirán tiñendo de rojo el cielo. Son las estrellas más frías y pequeñas. Dentro de 10 millones de años, dejarán de quemar energía y el cielo nocturno se volverá negro. Solo quedarán agujeros negros. Empezará una nueva era, la de los agujeros negros, en la que orbitarán unos alrededor de otros. Pero estas galaxias seguirán evolucionando. En trillones de años se

absorberán unos agujeros negros a otros. La materia que evada un agujero negro acabará muriendo cuando el protón se destruya. Sólo quedarán agujeros negros. Se creía que eran inmortales, pero acabarán muriendo. Se evaporarán y se harán cada vez más pequeños, hasta que desaparezcan. El Universo acabara cuando muera el último agujero negro. El último producirá una explosión de rayos gamma y todo habrá desaparecido.

*El Universo acabará cuando muera el último agujero negro.*

El fin llegará, la energía oscura llevará esto a una muerte fría larga e inexorable. Salvo que haya un cambio de estado. Como ocurre con el agua. ¿Qué pasaría si estuviéramos en el agua y se congelara de momento, es decir debido a un cambio de estado?. Puede ocurrir esto en el espacio vacío. La energía acumulada en el estado vacío podría liberarse. Un fallo espontáneo en el espacio-tiempo, podría dar lugar a un cambio de estado. Ya ocurrió algo de esto. En el big bang, era caliente y no tenía forma, ni espacio ni tiempo. Un fallo desencadenó un cambio de estado y de una burbuja (como el hielo en el agua) la energía creó el espacio y el tiempo, la materia y la radiación. El viejo Universo creó el nuevo. Quizás fuera la energía oscura que hoy observamos. Un nuevo fallo puede provocar un cambio de estado. Dentro de Universo está el germen de su destrucción. Nada sobrevivirá a un cambio de estado en expansión.

*Si se diera un cambio de estado, nada podría sobrevivir.*



*Handwritten signature or initials.*



## El origen del tiempo

La Mecánica Cuántica, se va aplicando a los distintos campos incorporando un punto de vista que, en ocasiones, resulta incompatible con el sustentado hasta ahora. Así ha ocurrido con la teoría de la gravedad y la de la relatividad, ya en la primera mitad del siglo XX. La discrepancia surgía de forma evidente, porque al intentar conciliar los principios, las ecuaciones conducían a infinitos, carentes de sentido como resultados físicos. Hubo que esperar hasta la década de los 60, cuando DeWitt aportó un gran avance, al lograr combinar planteamientos hasta entonces incompatibles, llegando a soslayar los inconvenientes de los infinitos. También, es cierto que introdujo el debate en otro problema todavía más complejo, porque el tiempo dejó de tener relevancia en su ecuación y propuso el enunciado de que "en el Universo, nunca pasa nada", claramente en oposición a las evidencias observacionales. Absurdos eran los infinitos, pero no menos la nueva propuesta. El "problema del tiempo" se ha convertido en la piedra de toque de la moderna física, pese a que muchos lo han pretendido ignorar, pero con poco o ningún éxito.

En 1983, Page y Wothers, incorporaron una solución basada en el entrelazamiento cuántico, que es la forma de enunciar la situación de que dos partículas cuánticas compartan la misma existencia, pese a estar físicamente separadas. Es una forma de denominar un poderoso enlace entre las partículas. El interés de la propuesta de Page y Wothers es que lo utilizaron para medir el tiempo, como la evolu-

*DeWitt logró superar los inconvenientes de los infinitos al intentar combinar la teoría de la gravedad con la relatividad.*

*El problema del tiempo es clave en la Física Moderna.*

*Page y Wothers usaron el entrelazamiento cuántico para medir el tiempo.*

*En Cuántica el resultado depende del observador.*

*La clave fue un observador que apreciara el cambio en las partículas entrelazadas comparadas con todo lo demás.*

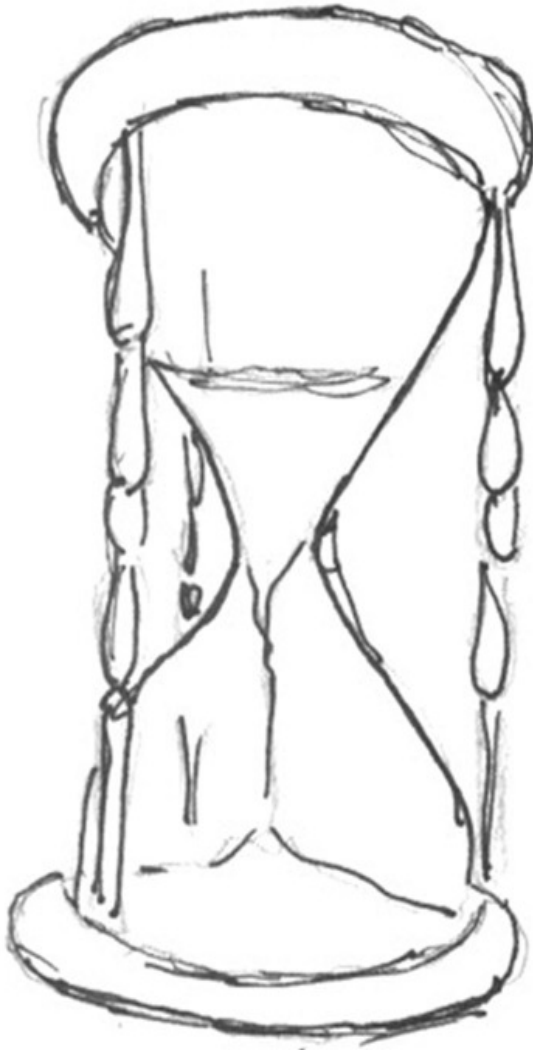
*La verificación experimental es clave.*

ción de dos partículas entrelazadas, como si se tratara de un reloj. Ahora bien, tal como introduce la Cuántica, el resultado depende del observador, es decir, de cómo se lleva a cabo la observación. Podemos idear el comparar el cambio entre las partículas enlazadas con un reloj externo, convencional, que es totalmente dependiente del Universo. Esto equivale a tratar de medir el tiempo, constituyéndonos en un observador que midiera la evolución de las partículas utilizando un reloj externo, como si fuéramos el propio Dios. La conclusión no dejó de sorprender, por cuanto Page y Wootters evidenciaron que las partículas aparecerían completamente descargadas, con lo que el tiempo no tendría existencia. Pero hay otra forma de hacerlo que consiste en que el observador compararía desde dentro del Universo, la evolución de las partículas con el resto del Universo. Ahora, el observador interno apreciaría un cambio y esa diferencia en la evolución de las partículas entrelazadas comparadas con todo lo demás, es lo que constituye la medida del tiempo. Visto así, es una propuesta de alcance, por cuanto el tiempo pasa a ser un fenómeno emergente, que deriva del entrelazamiento y solamente se da para los observadores que se encuentran dentro del Universo. Para cualquier observador que lo viera desde fuera, contemplaría un Universo estático e invariable, que es lo que predicen las ecuaciones de Wheeler-DeWitt.

La verificación experimental de estas ideas es imprescindible para que estas propuestas dejen de ser meras ideas de amplio alcance filosófico. Pero lo cierto y verdad es que situar un observador fuera del Universo, hace muy improbable que se pueda evidenciar. No obstante, Moreva, en el Instituto Nacional de

Investigación Metrológica (INRIM) en Turín, ha desarrollado un primer experimento que comprueba estas ideas, confirmando que el tiempo es un fenómeno emergente para todos los observadores internos, pero que no existe para los observadores externos. Ha simulado un Universo consistente en un par de fotones entrelazados y un observador que pudiera medir su estado de las dos formas distintas, interna y externa. En el primer caso, el observador interno mide la polarización de un fotón, entrelazándose con él y lo compara con la polarización del segundo fotón. Claramente, la diferencia es una medida del tiempo. De forma alternativa, los fotones los hace pasar, de nuevo, a través de placas birrefringentes que cambian sus polarizaciones. Pero ahora, el observador solamente mide las propiedades globales de ambos fotones comparadas con respecto a un reloj externo independiente. En este caso, el observador no puede detectar ninguna diferencia si no está enlazado con uno o con el otro. Al no existir diferencia, el sistema parece estático, es decir, el tiempo no emerge, es relativo y consecuencia del entrelazamiento cuántico. ¡Fantástico!

*Moreva ha desarrollado un experimento que comprueba que el tiempo emerge para un observador interno y no existe para observadores externos.*



*A. Requena*

## TRAZO 2.17

## El primer sonido del Universo

Cierto es que ninguna ley física requiere que en el Universo primigenio existieran ondas sonoras. Pero en ese estado de plasma inicial de aquél, esa especie de bola de fuego, era un medio en el que existieron ondas de presión durante 300.000 años. Pitágoras (siglo V a.C.) y Kepler después, (siglo XVII) ya intuyeron una especie de cosmos musical, lo que se trasladó como música de las esferas. Peebles y Yu, en 1970, corroboraron las intuiciones de aquéllos al proponer que en el Universo primigenio se generaron oscilaciones cuya longitud de onda llegó a tener el tamaño de 300.000 años luz, que era el tamaño del Universo cuando se formaron los primeros átomos estables y se liberó la denominada radiación de fondo del Universo, que percibimos en forma de microondas. Esto significa que, en el plasma, que es una especie de sopa de electrones, fotones y protones, se mantuvieron acoplados y se movieron en perfecta sincronía, de forma similar a una superficie de un mar en calma. Tuvo que darse una perturbación cuántica para provocar la vibración de ese plasma, transfiriendo energía desde las zonas de mayor densidad a las de menor y éste fue el origen de las ondas de presión que se propagaron. Para poder explicar este hecho, tuvieron que darse irregularidades, estimadas del orden de una diezmilésima. Esto es lo que se desviaría la temperatura local en un punto de su valor medio. Si fuera la temperatura media de 10 °C, la irregularidad sería de una milésima de grado. Esto es lo que motivó a muchos investigadores para buscar una anisotropía del Universo que, final-

*En el Universo primigenio existieron ondas de presión durante 300.000 años.*

*En el plasma, los electrones, fotones y protones se mantuvieron acoplados y en sincronía.*

*Tuvo que darse una perturbación cuántica, para provocar la vibración del plasma.*

*Las ondulaciones del universo primigenio las detectó en 1992 el satélite COBE.*

*Las ondas acústicas requieren un medio material para propagarse.*

*Las inflación inyectó energía en el plasma original y se generaron las ondas sonoras.*

mente, detectó el satélite COBE en 1992 y que se difundió como una especie de mapamundi con puntos negros, blancos y grises que denotaban las fluctuaciones de la energía en torno a la media. Estas eran, finalmente, las ondulaciones del Universo primigenio y, por ende, la música del Universo.

Las ondas de la radiación son consecuencia de la aceleración de partículas cargadas y no requieren un medio material para propagarse. Las ondas acústicas requieren de un medio en el que propagar las alteraciones de presión, dado que son ondas mecánicas y cada partícula hace que las contiguas les sigan en su oscilación, componiendo una compresión y una rarefacción que son las que se propagan. Cuando se aplica la transformación de Fourier a las fluctuaciones detectadas por la sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) se obtiene una gráfica que incluye picos correspondientes a frecuencias resonantes.

Tras el Big Bang aconteció la inflación cósmica que vino a inyectar energía en el plasma original y se generaron ondas sonoras. El plasma se comportó como si se tratara de un instrumento musical. Un instrumento emite sonidos que se generan, por ejemplo, en un clarinete, soplando sobre una boquilla que incluye una lengüeta que vibra y genera una onda de presión que el aire transporta por el interior del instrumento. Pero la lengüeta, que es la fuente del sonido, vibra en un amplio rango de frecuencias. En el tubo encajan muchas ondas. La frecuencia más baja o fundamental es la de mayor longitud que encaja entre los extremos del tubo (o los de una cuerda si se trata de una cuerda pulsada). En realidad, la frecuencia

fundamental es aquella cuya longitud de onda corresponde al doble de la longitud de la cuerda. Como es una onda resonante, los nodos coinciden con los extremos de la onda y no se destruye por interferencia. Si multiplicamos por un número entero esta frecuencia fundamental, obtenemos los armónicos superiores. Un instrumento nunca produce una nota única. Si contemplamos una cuerda como un conjunto de masas sucesivas, unidas por muelles, cuando se rasga producirá la vibración de muchas frecuencias resonantes. El material que constituye la cuerda o el tubo del instrumento determinarán la producción e intensidad de los armónicos. Unos se apagarán, mientras que otros prevalecerán. La denominada frecuencia natural estará compuesta por la frecuencia fundamental y los armónicos. Cada instrumento tendrá su signatura- Los armónicos son los que otorgan el timbre.

*Las ondas resonantes no se autodestruyen por interferencia.*

*La frecuencia natural está compuesta por la frecuencia fundamental y los armónicos.*

Las ondas sonoras que se generaron en el Universo primigenio estaban sometidas a dos fuerzas: la gravedad y la radiación. La primera provoca la aglomeración, la compactación, que de no haber habido otra fuerza, hubiera provocado el colapso. La radiación compensó la fuerza de la gravedad: los fotones chocaban con los electrones, alterando su momento cinético y ejerciendo una fuerza, según la segunda ley de Newton. Así se frenaba el colapso gravitatorio. Pero el resultado fue que la onda plasmática se expandía y decrecía la presión. La gravedad comprimía de nuevo el plasma. Estas presiones y depresiones generaron el primer sonido del Universo. Y así ocurrió, según el modelo estándar durante los primeros 300.000 años tras el Big Bang. En 300.000 años a la velocidad de la luz, recorrió un millón de parsecs. Se estructuró el Universo.

*La gravedad y la radiación actuaban sobre las ondas sonoras primigenias.*

*El resultado fue una onda plasmática que se expandía y decrecía la presión y la gravedad la comprimía: fue el primer sonido del Universo*



*A. Requena*



## El problema inverso

En Ciencia experimental, los fenómenos observados permiten formular hipótesis, que pueden dar lugar a teorías que soportan la construcción de modelos que permiten describir aquellos fenómenos. Lo relevante es la forma funcional con la que se describe el fenómeno, bien sea una ecuación o sistema de ecuaciones, bien sea digitalmente mediante tablas numéricas para interpolar o extrapolar resultados; al final se trata de una función que incluye parámetros cuyo valor concreta el proceso relevante del fenómeno observado. Cuando se dispone de una teoría para un fenómeno, podemos resolver los problemas directos, es decir, haciendo uso de los valores concretos de los parámetros, determinamos los valores que deben tener los datos que debemos o podemos medir, de forma que podamos compararlos con los obtenidos experimentalmente. Es la forma usual de trabajo. Por ejemplo, en un análisis químico, los datos observados permiten establecer curvas de calibrado cuyo uso posterior consiste en a partir del valor de una propiedad, deducimos el resultado a obtener para otra variable. Por ejemplo, medimos la absorción de un compuesto a una longitud de onda determinada. Si previamente establecimos la curva de calibrado, obteniendo a partir de disoluciones de concentración conocida la absorción correspondiente, estamos en condiciones de actuar obteniendo la lectura de la absorción y la curva de calibrado nos permitirá conocer la concentración.

*Cuando se dispone de una teoría para un fenómeno, se pueden resolver problemas directos.*

*Las curvas de calibrado permiten deducir que valores podremos obtener para una variable.*

*El problema inverso consiste en determinar las propiedades de un sistema a partir de los datos observados.*

*Un problema similar consiste en determinar las propiedades de un sistema inaccesible.*

El problema inverso consiste en determinar las propiedades del sistema a partir de los datos observados. Por tanto, se procede por la vía opuesta al camino usual de la Ciencia experimental. Un problema muy establecido es el problema de la batería, consistente en encontrar su forma conociendo el sonido que produce. Es decir, se tiene que determinar los coeficientes de una ecuación diferencial o en derivadas parciales, conociendo el espectro de valores propios. Pero el problema es el mismo que cuando se trata de un medio inaccesible a la observación directa y pretendemos determinar las propiedades de ese medio. La situación es corriente en geofísica interna, por ejemplo. Buen ejemplo de ello es la localización de la fuente de ondas sísmicas a partir del tiempo al que se registra la observación en diversas localizaciones. Si se supone que la velocidad de propagación es constante sobre la superficie, se trata de un problema de ajuste por mínimos cuadrados. Entonces, determinada la fuente, podemos calcular el tiempo que tardará la onda en llegar a un punto de la superficie. Si la Tierra fuera esférica, ese tiempo solamente depende de la distancia entre la fuente y la estación de observación. Pero la velocidad de propagación es mayor que si se propagara por la superficie. Surge otro problema inverso: cómo determinar la velocidad de la onda en función de la profundidad, suponiendo que solamente fuera función de ella. A partir de trabajos de Batermann en 1910 y de Gerver y Markushevitch en 1967, sabemos que la velocidad aumenta con la profundidad, con discontinuidades a unos 35 kilómetros. Las propiedades de un medio dependen de la posición y del tiempo. Se requiere información infinita. En la práctica se estudian problemas estáticos y se fragmenta el medio en secuencia discretas y

finitas. Si se modela la Tierra como una densidad homogénea de volúmenes elementales, la atracción que ejerce sobre el exterior se deduce de la ley de Newton. Se van ajustando sucesivamente los parámetros hasta alcanzar acuerdo con los datos observados con una precisión instrumental. Este es el procedimiento denominado de aproximaciones sucesivas.

*Es usual emplear un método de aproximaciones sucesivas.*

Las teorías se pueden formular cuando se trata de un problema lineal, es decir que los datos dependen linealmente de los parámetros. Los tres obstáculos a superar son: si existe solución, si es única y si es estable, ante pequeñas variaciones de los datos o de la teoría. En los problemas lineales cuando disminuyen los errores experimentales al incrementar la precisión de las medidas, disminuye la potencia de la resolución. Por el contrario, la búsqueda de una mejor localización de un parámetro, da lugar a un aumento de su error. Es como una forma del principio de incertidumbre.

*Los tres obstáculos para formular una teoría para un problema lineal son: que tenga solución, que sea única y que sea estable.*

En los problemas no lineales, para un modelo dado, se evalúa la diferencia entre los datos calculados y observados; usualmente se emplea el método de mínimos cuadrados para ello. La solución se asume que está en la dirección en la que la diferencia disminuye más, denominado método del gradiente. Con cierta frecuencia esto conduce a otros mínimos secundarios, en lugar de conducir al valor más bajo. Se emplean, en general dos métodos: a) linealización, según la cual, una vez encontrada una primera aproximación, se investiga en las proximidades de esa solución y b) el método de Montecarlo, por la que se explora en el dominio de los parámetros, resolviendo el problema directo. Se requiere que el costo de cálculo sea económico. Cuando el número de

*Para un problema no lineal se formula un modelo y se determina la diferencia entre los datos calculados y los observados.*

*Tarantola propone una aproximación probabilística basada en el teorema de Bayes.*

*Se trata de hacer insensibles los resultados a los parámetros.*

parámetros es elevado el coste también lo es.

Tarantola enfoca este problema proponiendo una aproximación probabilística basada en el teorema de Bayes. El problema directo y el inverso pierden especificidad y se pasa a examinar el estado del sistema. Toda la información previa de los parámetros del modelo estudiado se definen como una distribución de probabilidad en el espacio de modelos. Esta distribución se transforma en una información a posteriori incorporando la teoría física que liga a los parámetros con los datos observables, definidos por una distribución de probabilidad y con la información que suministran los datos observados. Esto permite efectuar una revisión del estado del sistema. Es una forma de hacer los resultados insensibles a la elección de la parametrización. Tarantola lo desarrolla en un excelente libro publicado en 2006, *Elements of Physics, Quantities, Qualities and Intrinsic Theories*. Una Brillante propuesta-





## TRAZO 2.19

## El subsuelo de la vida

La química de la vida se distingue tanto por su alto grado de orden como por su dependencia de una serie de reacciones que tienen lugar lejos del equilibrio. Algunas reacciones se pueden tratar como subsistemas aislados, empleando aproximaciones de equilibrio. El hecho de estar aislados ya implica desviaciones que son acumulativas y que vienen a reflejar las propiedades de un sistema de niveles que es como finalmente se aborda el estudio de la vida, cuando debiera considerarse como un todo.

*La vida se estudia como si fuera un sistema de niveles.*

La lógica compositiva son los principios de ensamblaje de las redes metabólicas que operan en los organismos, capturando las regularidades de la estructura de las redes resultantes y/o su dinámica que es la responsable del fenotipo o papel ecológico. La lógica evolutiva está constituida por los principios de selección o restricciones que expresan de forma compacta las regularidades evolutivas y relacionan esos aspectos fenotípicos que pueden suponer innovaciones restrictivas o ajustes determinados.

*Lógica compositiva y lógica evolutiva.*

El orden dinámico de la química de la vida se mantiene por la transferencia de electrones en no equilibrio a través de la biosfera. Se puede deducir la energía libre de las diferencias de potencial entre los dadores y los aceptores de electrones, para una gran cantidad de ciclos bio-geo-químicos. Pero la transferencia de electrones en la célula está intermediada por un pequeño número de portadores universales

*El orden dinámico se mantiene por la transferencia de electrones en no equilibrio.*

*El metabolismo gobierna la dinámica química.*

de electrones que dirigen un conjunto limitado de reacciones orgánicas. Estas reacciones componen el denominado metabolismo, que gobierna la dinámica química, tanto de organismos como de ecosistemas. Una red metabólica, universal y aparentemente conservada, trasciende a toda diversificación de especies y cambios evolutivos y enriquece la biosfera con la mayor cantidad de procesos concebibles a nivel planetario. Se identifica el metabolismo con la arquitectura de sustratos específica y el flujo de control jerárquico de la red que configuran, lo que proporciona la caracterización más esencial de la naturaleza química del estado vivo.

*La Física y la Química condicionan la vida y la evolución.*

La comprensión de la estructura del metabolismo es fundamental para la comprensión de cómo la Física y la Química condicionan la vida y la evolución. La polimerización a partir de monómeros para dar lugar a macromoléculas funcionales concretas e incluso integraciones más complejas, incluso la replicación celular, forman una jerarquía, bien conocida, de procesos de coordinación y portadores de información. En la secuencia de la biosíntesis estos procesos acontecen posteriormente y ponen en juego muchas reacciones químicas más simples que las que forman el denominado core del metabolismo, como son la red en la que los monómeros básicos componentes de la biomasa se obtienen a partir de componentes del entorno.

Debido a que en el core tiene lugar el origen de la biomasa, su flujo es necesariamente mayor que el que se da en cualquier proceso secundario y únicamente el transporte de electrones en la membrana supone un flujo mayor de energía. En la literatura se propone que, en el



caso de las enzimas, las reacciones metabólicas secundarias tienen velocidades que son del orden de 1/30 las velocidades típicas de las enzimas en las reacciones del core.

Podemos entender con Brakman y Smith, que el metabolismo es un subespacio de la Química Orgánica sobre el que la vida ha ganado el control catalítico, porque en la construcción y optimización de los fenotipos biológicos toda la materia fluye a través de este subespacio; su estructura interna impone un filtro muy severo sobre la evolución.

*Según Brakman y Smith el metabolismo es un subespacio de la Química Orgánica.*

Brakman y Smith proponen una serie de principios organizativos, además de las estructuras universales y funciones del metabolismo. Proporcionan una caracterización simple de la arquitectura metabólica, particularmente en relación con el metabolismo microbiano, la ecología y la filogenia y las transiciones bio-geoquímicas más importantes en la evolución. A menudo se identifican los mismos patrones de organización a distintas escalas de tiempo, tamaño o complejidad y trazan esa química subyacente específica, redes topológicas o mecanismos de distinta robustez. Actúan como restricciones y fuentes de variación adaptativa y, en el fondo, gobiernan la evolución del metabolismo, desde las células más jóvenes y algunas de ellas son las que han llegado a gobernar su emergencia. Son las que nos permiten la reconstrucción plausible de la historia de las innovaciones metabólicas y también permiten explicar ciertas convergencias evolutivas y la persistencia en el tiempo de los componentes del core de la arquitectura metabólica.

*A menudo se identifican los mismos patrones de organización a distintas escalas de tiempo.*

Muchos motivos estructurales se pueden interpretar como módulos funcionales, tanto a nivel

*La modularidad puede facilitar la emergencia y soportar funciones robustas para sistemas complejos jerárquicos.*

*El diseño modular permite concebir que el metabolismo será modular como reflejo de los requerimientos de emergencia y estabilidad interna.*

de sustrato como de control del metabolismo. Si se aíslan los efectos de la perturbación y se sustraen los que provienen del error, se identifica que, precisamente la modularidad, puede facilitar la emergencia y soportar las funciones robustas de sistemas complejos jerárquicos. Puede, también, afectar la estructura a gran escala de la evolución favoreciendo la variación de la regulación y enlace entre módulos, mientras conserva y, por tanto, minimiza la alteración de la arquitectura y la estabilidad interna. Esto puede impulsar la evolución a través de dos mecanismos distintos. Un incremento fenotípico, es decir, estructural o funcional, opuesto al genotípico. La robustez de los módulos individuales permitió el acceso a grandes espacios neutros genéticos y así es concebible un número mayor de fenotipos nuevos en los límites de esos espacios. Al mismo tiempo, concentrando los cambios a nivel de módulo, pueden decrecer la cantidad de variación genética necesaria para generar los cambios heredables en fenotipos agregados. Se ha propuesto que las asimetrías en las restricciones evolutivas pueden amplificarse a través de la selección directa para evolucionar y esto es una fuente fundamental de modularidad y jerarquía en los sistemas biológicos.

Estas consecuencias funcionales derivadas del diseño modular permiten concebir que el metabolismo será modular como reflejo de los requerimientos de emergencia y estabilidad interna. Ciertamente, esto se observa empíricamente, según la propuesta de Brakman y Smith. Muchos análisis topológicos de redes metabólicas identifican una estructura modular y jerárquica. Debido al elevado flujo de masa y una química más diversa en la secuencia del core, se espera que la modularidad en las

subredes tendrá una mayor influencia en la dinámica evolutiva. Brakman y Smith revisa la evidencia que soporta esta expectativa, lo que sugiere que las innovaciones en el core de fijación del CO<sub>2</sub> fueron una de las mayores causas de la mayor divergencia en el misterioso árbol de la vida.

*La modularidad en las subredes tendrá una mayor influencia en la dinámica evolutiva.*

La comprensión del origen y las consecuencias evolutivas de la modularidad en el metabolismo, precisan representaciones a nivel de sistemas que superan a la topología, para incluir, a veces, distinciones muy particulares de la función. Los detalles de la química de sustratos, agrupamiento de enzimas y conservación, y la filogenia de los módulos metabólicos, en particular, son fuentes ricas de información funcional y del contexto. La diferencias entre niveles también ayuda a distinguir la modularidad que origina los mecanismos de reacción y la topología de la red del sustrato metabólico de moléculas pequeñas, a partir de formas de modularidad de alto nivel, posiblemente independientes, en la regulación de las velocidades de flujo o expresión fenotípica debida a los componentes macromoleculares de las células. Se ha sugerido como ejemplo de esta segunda clase de control regulatorio las restricciones modulares observadas en las rutas biosintéticas de aminoácidos y la dinámica de respuesta de estas rutas. Estas formas de modularidad derivan de mecanismos tales como inhibición alostérica de enzimas y las actividades específicas de enzimas, que aparecieron en la topología de red subyacente en el inventario molecular de metabolitos. Hay rutas en las que la regulación de la red puede haber sido esencial para la estabilidad de sus arquitecturas subyacentes. El reconocimiento de los distintos caracteres de motivos arquitec-

*Las diferencias entre niveles ayuda a distinguir la modularidad.*

*Hay rutas en las que la regulación de la red puede haber sido esencial para la estabilidad de sus arquitecturas subyacentes.*

tónicos y mecanismos de control a diferentes niveles permite reconstruir etapas en la evolución metabólica e identificar sus fuerzas directrices ambientales.

*Química catalítica "dura" y "fácil".*

*La descomposición modular de la fijación del carbono da cuenta de toda la diversidad conocida.*

El problema fundamental de la transferencia de electrones en disolución da lugar a una división cualitativa entre la química catalítica "dura" y "fácil" y esta división en una u otra forma tiene mucho de arquitectura y evolución del metabolismo de largo alcance y la biosfera. La Química "dura" implica transferencias de electrones cuyos estados intermedios serían inestables o energéticamente inaccesibles en el agua, si no mediaran los centros de metales de transición, incluidos en complejos metal-ligando y/o complejos estructurales de cofactores orgánicos. Una Química "fácil", implica la hidrogenación e hidratación, reacciones redox intramoleculares y un amplio conjunto de química ácido-base. Esta química "fácil" se reutiliza reiteradamente y proporciona y justifica las reacciones internas con los módulos del metabolismo del core. La química "dura" define los límites de módulo y las restricciones de la innovación evolutiva. Estas ideas simples ilustradas por Brakman y Smith, subrayan una descomposición modular de la fijación de carbono que da cuenta de toda la diversidad conocida, en gran medida en términos de adaptaciones únicas para las variaciones químicas simples que acontecen en el entorno abiótico. El fundamento del metabolismo del core se rehace en la fijación del carbono. El resto de la biosíntesis está arreglado ampliamente de rutas anabólicas crecientemente independientes. El papel unificador del core permite diversas rutas anabólicas que revierten independientemente y llegan a ser catabólicas y la combinatoria de las posibles reversiones en comunidades de orga-

nismos determina el espacio de posibilidades evolutivas para la ecología heterotrófica.

Brakman y Smith proponen un papel de retroalimentación en Bioquímica, que toma diferentes formas a varios niveles. Se identifican redes autocatalíticas si consideramos aparte el origen de las funciones catalíticas externas y de cofactor, como una propiedad interna de las redes de sustrato de pequeñas moléculas que intervienen en muchas rutas del core. Una forma diferente, cualitativamente, de retroalimentación se establece a través de cofactores, que pueden actuar, bien como catálisis molecular o como redes. Como redes catalíticas difieren de los pequeños metabolitos debido a su estructura interna que no cambia, excepto a una distancia de uno o dos enlaces, en la reacción en que intervienen. Los cofactores actúan como claves que establecen dominios mixtosn Química Orgánica con Bioquímica y esto genera un área extraordinariamente productiva al tiempo que severamente limitante. No existen funciones de ruta del core sin cofactores y la diversificación parece haber sido fundamental como diversificación enzimática en algunas ramas de evolución profunda. Se arguye, para una coevolución de la función de cofactor con la expansión de la red metabólica universal de componentes inorgánicos, el interés de intentar situar los grupos cofactores clave con independencia jerárquica de las rutas biosintéticas, particularmente en relación con la habilidad inicial para sintetizar ARN.

El mensaje más importante a obtener es la notable huella dejada por las restricciones químicas de muy bajo nivel e incluso las de muy alto nivel de organización biológica. Solo siete módulos de fijación de carbono, la mayoría

*La retroalimentación en Bioquímica toma diferentes formas a varios niveles.*

*Las restricciones químicas, tanto de bajo nivel como muy alto nivel, dejan huella.*

*Una colección pequeña de familias de cofactores han sido clave para determinar la estructura metabólica, desde las primeras células hasta el presente.*

determinados por distintas reacciones de carboxilación dependientes de metales, cubren toda la diversidad filogénica conocida y proporcionan los bloques de construcción tanto para la innovación metabólica autotrófica como la heterotrófica. Una colección pequeña, similar, de familias de cofactores orgánicos y organometálicos han sido las claves que determinan la estructura de red metabólica desde las primeras células hasta el presente. El número de estos cofactores se puede reducir si identificamos relaciones biosintéticas que dan lugar a funciones relacionadas (como los cofactores derivados de la purina o del ácido corísmico) o casos de convergencia evolutiva dominada por propiedades de elementos. Todo ello se puede entender como leyes de organización biológica.

*Las reregularidades deberían ser predecibles.*

En una teoría geoquímica de la emergencia del metabolismo, las regularidades deberían ser predecibles a partir de las propiedades de la Química Orgánica subyacente. La comprensión de la Química Orgánica relevante continúa expandiéndose a áreas hasta hace poco inexploradas, como formas particulares tales como la Química organometálica o usos convergentes de nitrógeno y azufre, que es de suponer que serán predecibles a partir de sus propiedades catalíticas singulares.

*La correlación en Biología es en gran medida una propiedad constructiva.*

La correlación en Biología es en gran medida una propiedad constructiva. No ha tenido la misma importancia siempre y su persistencia depende de la escala de tiempo. La evolución de largo alcance permite la recombinación, incluso en células recientes y en el genoma. La vida inicial, en contraste, con sus células menos integradas y genomas y unos rasgos acoplados más holgadamente, "construyó"

menos correlación de largo alcance. Estos fueron los dominios en los que se evidenciaba la más simple pero invariante restricción que suponían la Química y Física subyacentes.

La parsimonia es un criterio para construir árboles de relaciones que minimizan los casos repetitivos de la misma innovación en los enlaces. La parsimonia estricta está bien definida, pero encajarla cuando se requiere alguna repetición, no se define solamente con el criterio de parsimonia. En la práctica, ordenar las distintas soluciones con el criterio de parsimonia va acompañado de valoraciones basadas en la probabilidad que penaliza un método tan acreditado como el de máxima probabilidad o bayesiano que soslayaría las innovaciones repetidas.

*La parsimonia como criterio de construcción de árboles de relaciones.*

El metabolismo se ha construido sobre los fundamentos de la Química Orgánica y emplea estructuras e interacciones a muchos niveles. Pese a todas las complejidades, el metabolismo exhibe regularidades notables y robustas que se manifiestan en formas modulares y jerárquicas, que Brakman y Smith describen de forma compacta en términos de unos pocos principios de composición. Estas regularidades muestran una arquitectura metabólica comprensible como un sistema y también sugiere un orden en esas distintas capas que dan lugar al sistema. Se puede concebir como que el metabolismo es una capa fundamental para otras jerarquías, al menos hasta el nivel de la integración celular, incluyendo la bioenergética y la replicación molecular y la ecología trófica. Los patrones que se dan primero en el metabolismo, presentes en otros niveles, inducen a interpretar el metabolismo como una fuente motivadora o restrictiva de muchas formas de

*El metabolismo se ha construido sobre fundamentos de Química Orgánica .*



*En los sustratos de pequeñas moléculas, los límites del módulo van asociados a mecanismos altamente conservativos de reacciones complejas.*

*Los cofactores explotan propiedades de los distintos elementos de la Tabla Periódica.*

organización en la biosfera. Muchas formas de modularidad y jerarquización que se exhiben en el metabolismo se interpretan como estados de emergencia de control catalítico de los sistemas vivos sobre la Química Orgánica, en ocasiones recapitulando o incorporando mecanismos geo-químicos. Son subconjuntos de compuestos químicos y reacciones o de funciones, las que se dan en muchos contextos que conservan la estructura interna. A nivel de sustrato de pequeñas moléculas, los límites del módulo van asociados, a menudo, a mecanismos altamente conservativos de reacciones más complejas, catalizadas por enzimas. Los cofactores, que son componentes no protéicos, termoestables y de bajo peso molecular, necesario para la acción de una enzima, forman unas capas de control biosintético y funcional por encima de los sustratos de moléculas pequeñas. Los más complejos entre los cofactores están asociados a reacciones que tienen lugar en los límites del módulo en la red de sustrato, mientras que cofactores más simples participan en reacciones ampliamente generalizadas. Las estructuras químicas de los cofactores, explotan propiedades de los distintos elementos de la Tabla Periódica, con lo cual, actúan como llaves que incardinan reacciones orgánicas con bioquímicas. La zona frontera de los módulos proporcionan interfaces donde se concentran los cambios, proponen Brakman y Smith, cuando catalogan la diversidad existente en los fenotipos metabólicos y encuentran que los mismos módulos que organizan la diversidad del metabolismo son los que gobiernan la evolución de largo alcance. La evolución primigenia del core metabólico y, en especial, la fijación de carbono, supone, en realidad, muy pocas innovaciones y haber usado pocas reglas de composición de



módulos para producir las adaptaciones a diferencias químicas o energéticas del entorno, simples, sin soluciones diversas y sin contingencia histórica. Brakman y Smith han demostrado que estos hechos del metabolismo en cada uno de los niveles jerárquicos, comienzan con sustratos metabólicos de pequeñas moléculas y arquitectura de redes, continúan a través de los cofactores y reacciones clave y culminan con la agregación en las células, mediante procesos físicos y bioquímicos múltiples. Es esta una forma de interpretar la lógica compositiva y evolutiva del metabolismo. En Ciencia, nunca está dicha la última palabra. Pero conceptualmente ya es un avance significativo. Estas reflexiones y otras parecidas nos llevan a la convicción de que la vida es preciso interpretarla como un todo. La visión holística tiene sus dificultades, añadida a la propia de desentrañar los procesos individuales que, en todo caso, acontecen en el subsuelo de la propia vida.

*Los mismos módulos que organizan la diversidad del metabolismo, son los que gobiernan la evolución de largo alcance.*



## TRAZO 2.20

## Electrones lentos

La electricidad se usó mucho antes de comprenderla. Ya en Grecia se percataron que el ámbar atraía objetos pequeños cuando se frotaba con pieles. Fue una de las primeras experiencias de los humanos con la electricidad, tras la contemplación del rayo destructor que rugía en la Naturaleza sin control. En 1600 hay una referencia de Gilbert definiendo el término "electricus", refiriéndose a la capacidad de atracción de objetos pequeños tras ser frotado un objeto con unas ciertas características. Eléctrico y electricidad derivan del latín "elektrum", que proviene del griego "elektron" que es la denominación del ámbar

*El ámbar atraía objetos pequeños al frotarla con pieles.*

A comienzos de 1700 Hauksbee y Cisternay du Fay, independientemente, propusieron dos clases de electricidad friccional: la que se obtenía al frotar con vidrio y la que se derivaba de la fricción con resina. Este hecho permitió proponer du Fay que la electricidad consistía en fluidos, uno vítreo y otro resinoso, separados al aplicarles la fricción y que tenían la propiedad de neutralizarse al combinarlos. Una década posterior, Franklin propuso que la electricidad provenía de un solo fluido, no de dos, a presiones diferentes y ya introdujo los conceptos de carga positiva y negativa. Conjeturaba que el portador de la carga era el positivo y no lo identificó correctamente.

*Dos clases de electricidad: la que se obtenía al frotar el vidrio y la de hacerlo con la resina. Franklin concluyó que solo había un fluido y no dos*

Ya en fecha tan temprana, como en torno a 1840, el filósofo Laming propuso que el átomo estaba formado por un núcleo rodeado por partículas con carga eléctrica. En 1846, Weber

*Las cargas estaban ligadas a los átomos.*

propuso que la electricidad consistía en fluidos cargados positiva y negativamente y había una ley que regía su interacción que era la del inverso del cuadrado de la distancia. Al estudiar la electrolisis, Stoney concluyó que solamente había una cantidad definida de electricidad que era la carga de un ion monovalente, que estimó mediante las leyes de Faraday. Pese a ello, creía que las cargas estaban ligadas a los átomos de forma permanente y no podían removerse. Ya en 1881, von Helmholtz propuso que tanto las cargas positivas como las negativas se comportaban como partes elementales, como "átomos de electricidad".

*Hittorf estudió la conductividad eléctrica de los gases, Goldstein los denominó rayos catódicos y Crookes hizo el vacío.*

Hittorf, estudió la conductividad eléctrica de gases enrarecidos y en 1869 observó que el brillo emitido desde el cátodo aumentaba al disminuir la presión del gas. Goldstein, en 1876, observó que el brillo proyectaba una sombra y los denominó rayos catódicos. Crookes construyó el tubo de rayos catódicos haciendo un vacío en su interior que se situaba entre 100 milipascales y 100 nanopascales, evidenciando que iban del cátodo al ánodo y que estos rayos luminiscentes llevaban energía. Logró desviarlos, aplicando un campo magnético, evidenciando que su carga era negativa. Denominó a estos rayos materia radiante y sugirió un cuarto estado de la materia, consistente en moléculas cargadas negativamente y proyectadas a gran velocidad desde el cátodo. Shuster colocó placas de metal paralelas a la trayectoria de los rayos catódicos y aplicó un potencial, comprobando que los rayos eran desviados hacia la placa cargada positivamente. Corroboraba su naturaleza de carga negativa. Determinó la relación carga masa. El elevado valor obtenido, superior al esperado restó crédito a su propuesta. J. J.

*La carga era negativa.*

Thomson, Townsend y Wilson confirmaron que eran partículas, átomos o moléculas y Thomson estimó tanto la carga como la masa, concluyendo que ésta era unas mil veces menor que la masa del ion más ligero conocido, el de hidrógeno. Un dato importante que aportó es que esta relación carga / masa era independiente del material del cátodo. Eran partículas universales. FitzGerald bautizó a la partícula con "electrón" y se aceptó su propuesta.

*Thomson determinó la carga y la masa.*

*FitzGerald bautizó a la partícula con "electrón".*

Becquerel estudiando los materiales fluorescentes reparó que emitían radiación sin hacerles incidir energía de ninguna fuente externa. Se abrió la era del material radiactivo y muchos científicos lo estudiaron. Rutherford descubrió que emitían partículas, que denominó alfa y beta, en orden de su capacidad de penetración de la materia. Becquerel en 1900 evidenció que los rayos beta emitidos por el radio eran desviados al aplicarles un campo eléctrico y que la relación carga / masa era la misma que la de los rayos catódicos. Fue la primera evidencia de que los electrones eran componentes de los átomos y que se podían arrancar de forma independiente.

*Becquerel identificó que los materiales fluorescentes emitían radiación sin hacerles incidir ninguna energía.*

*Los electrones eran componentes de los átomos.*

Millikan y Fletcher experimentando en la famosa gota de aceite, midieron la carga del electrón en 1909, usando un campo eléctrico para evitar que una gota de aceite cargada cayera por efecto de la gravedad. Fue uno de los experimentos más bellos que se han construido en Ciencia y lograron un margen del error inferior al 1%, midiendo cargas eléctricas como la correspondiente entre 1 y un centenar de iones. Midieron la intensidad de la fuerza eléctrica que compensa la atracción gravitatoria de las gotas de aceite, minúsculas, que habían

*Millikan y Fletcher midieron la carga del electrón.*

*La carga estaba cuantizada.*

cargado mediante rozamiento y que mantenían suspendidas entre dos electrodos metálicos. Si conocemos el campo eléctrico, podemos determinar la carga de cada gota. Encontraron que los resultados eran múltiplos enteros de un valor,  $1,592 \times 10^{-19}$  C, que atribuyeron a la carga de un electrón. Las gotas de aceite son más estables que las de agua, con mayor presión de vapor y más evaporación, por tanto. Es un experimento bello porque es simple y elegante demostración práctica de que la carga está cuantizada. No olvidemos que Edison supuso que la carga era una variable continua, al igual que muchos de los científicos que se resistieron a aceptar la cuantización como una descripción subyacente en el mundo microscópico.

*Hoy son muy interesantes los electrones de baja energía.*

Vemos, pues, que la comunidad científica sabe de la existencia de los electrones, intuyéndolos desde hace miles de años y cuantificándolos desde hace más de un centenar. Y los ha empleado en procesos eficaces y determinantes para el progreso de la Humanidad. Otra cosa es que sus interacciones con la materia se hayan comprendido apropiadamente. Hoy día resultan de sumo interés los electrones de baja energía que son los electrones que tienen una energía cinética de unos 10 electronvoltios o menos (unos 1800 kilómetros por segundo. Estos electrones afectan al funcionamiento de los aislantes en los sistemas electrónicos y actúan sobre los tejidos biológicos y provocan daño en el cuerpo humano. La forma usual de estudiar la interacción con la materia de los electrones es mediante el denominado scattering (dispersión de la radiación) en aquella. Se enfoca un haz de electrones sobre una capa de material y se analizan las desviaciones que sufren las trayectorias de los electrones.

*La interacción electrones materia se estudia mediante las técnicas de dispersión o scattering.*

Cuando los electrones tienen alta energía, en primer lugar, interactúan con los átomos individuales que constituyen la sustancia y la dispersión se puede predecir mediante los modelos existentes. Pero si se trata de electrones de baja energía, entonces interactúan con la red molecular como un todo, lo que incluye enlaces químicos y movimientos vibracionales de los átomos en la sustancia y la dispersión resulta ser muy compleja para predecirla. Requería el desarrollo de modelos alternativos capaces de describir el movimiento de estos electrones de baja energía. Signorell y col. han propuesto como idea clave desarrollar una técnica que han dado en denominar "*método de la supercapa de aerosoles*". Implica la generación de gotitas de aerosol que constan de un core sólido y una capa que lo cubre de material orgánico que mimetiza algún polímero propio del entorno de la electrónica. Trabajando con estas gotitas en el vacío y empleando un láser para inducir al core a que libere los electrones se logra que viajen atravesando la capa que recubre el core. Cuando los electrones alcanzan la superficie y escapan, se pueden medir distintas propiedades, como la intensidad.

El método de la supercapa de aerosol supone dos ventajas: en primer lugar, facilita la separación del aislante del transporte de electrones a través de la cobertura de su formación en el core. En segundo lugar, las gotitas con un tamaño comparable a la longitud de onda del láser actúan como resonador para el propio láser. Esto se puede emplear para generar información adicional sobre la interacción de los electrones con la materia. El mayor reto del método es determinar con precisión el tamaño del core y de la capa de las partículas de aerosol. Mientras sea difícil medir estas cantidades,

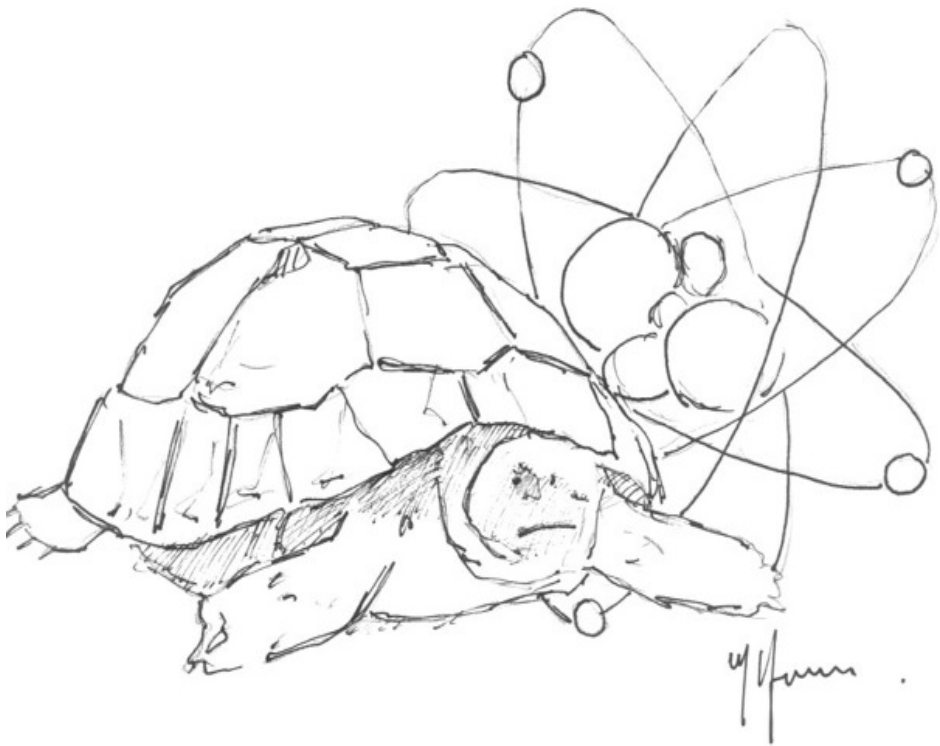
*Los electrones de baja energía interactúan con la red molecular como un todo.*

*Método de la supercapa de aerosoles en la que trabajando en el vacío y con un láser se induce que se liberen electrones del core.*

*Las gotitas de tamaño comparable a la longitud de onda del láser actúan como resonador para el propio láser.*

*La precisión de las medidas afecta a la precisión de la información que se genera en el scattering.*

la precisión de las medidas afectará a la precisión de la información que se genera en el scattering. Se puede estudiar cómo afectan los cambios estructurales al escape de los electrones de la superficie de las gotitas. Esto es muy relevante, por cuanto permiten abordar la relación entre las superficies y las interfaces de muchas sustancias. ¡Prometedor!











ISBN 978-84-09-05109-0

