

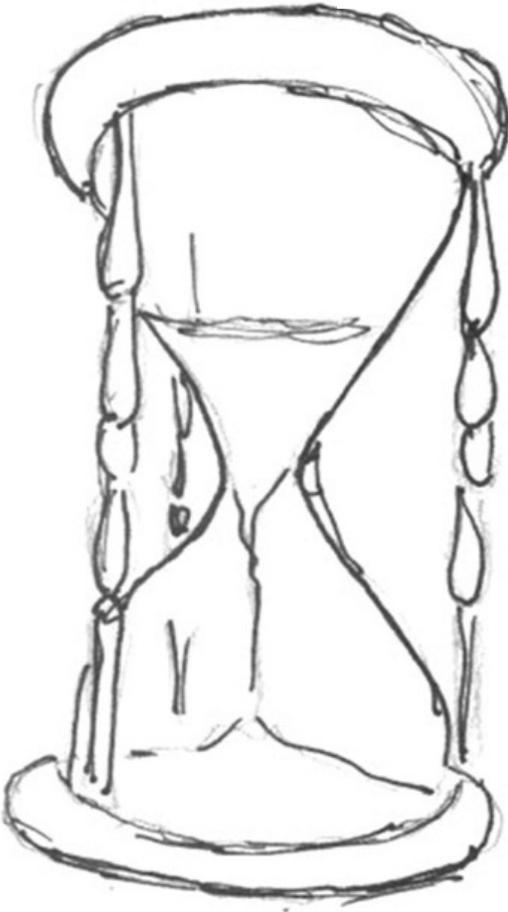
Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen III

Alberto Requena

Ilustraciones :
Marcos Amorós



Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen III

Alberto Requena

Ilustraciones :
Marcos Amorós



Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen III

Alberto Requena



Academia de Ciencias de la
Región de Murcia.
Vicepresidente



Ilustraciones :

Marcos Amorós



Datos de Catalogación Bibliográfica

Pensándolo bien... Vol. III
Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós

ISBN: 978-84-09-05111-3

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. III
Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós
ISBN (volumen III): 978-84-09-05111-3
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 que-
rer 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 III

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

OTROS VOLÚMENES

VOLUMEN I

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

VOLUMEN II

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

Contenido

TRAZADO 5

Nuevos paradigmas, 1

- Trazo 5.1 Mundo ruidoso, 3.
- Trazo 5.2 Música y Ciencia, 9
- Trazo 5.3 Nada está inmóvil, nada cambia, todo vibra, 17.
- Trazo 5.4 Nanoemulsiones, 27.
- Trazo 5.5 No a que inventen ellos, 31.
- Trazo 5.6 No es tan fiero, 35.
- Trazo 5.7 Nuevos paradigmas, 43.
- Trazo 5.8 Oganesson, 47.
- Trazo 5.9 ¿Para qué sirve un niño?, 47.
- Trazo 5.10 Per fumum, 57.
- Trazo 5.11 Perfilando la vida, 62.
- Trazo 5.12 Pesquisas, 67.
- Trazo 5.13 Plasmolisis y renovables, 77.
- Trazo 5.14 Podemos decidir, 83.
- Trazo 5.15 Por delante del experimento, 87.
- Trazo 5.16 Por encima del punto de partida, 91.
- Trazo 5.17 Preguntas y respuestas, 95.
- Trazo 5.18 Principios, 99.
- Trazo 5.19 Profundizando en la intimidad de las partículas, 105.
- Trazo 5.20 Queriendo contar, 109.

TRAZADO 6

Un proceso llamado mundo, 115

- Trazo 6.1 Química para su Alteza, 119.
- Trazo 6.2 Rapidez nerviosa, 121.
- Trazo 6.3 Redes neuronales cuánticas, 127.
- Trazo 6.4 Remolinos, 139.
- Trazo 6.5 Señales de vida, 143.
- Trazo 6.6 Smetría y simpatía en el Cosmos, 149.
- Trazo 6.7 Sin trabajo todas las ideas son abortos, 153.
- Trazo 6.8 Solo seis pero ¡vaya seis!, 161.
- Trazo 6.9 Supremacía cuántica, 167.
- Trazo 6.10 Susurros del Cosmos, 173.
- Trazo 6.11 Telégrafo electroquímico, 181.
- Trazo 6.12 Tiempo atmosférico calculado, 186.
- Trazo 6.13 Tierra hueca, 189.
- Trazo 6.14 Un proceso llamado mundo, 193.
- Trazo 6.15 Universo holográfico, 197.
- Trazo 6.16 Verdad, certeza y Gödel, 201.
- Trazo 6.17 Viajando a través del tiempo, 207.
- Trazo 6.18 Vita Aquae, 211.
- Trazo 6.19 Y sólo son veinte, 217.
- Trazo 6.20 Zenon cuántico, 223.

TRAZADO 5

CIENCIA ÚTIL

- 5. Introducción. -1-
- 5.1. Mundo ruidoso. -3-
- 5.2. Música y Ciencia. -9-
- 5.3. Nada está inmóvil; todo se mueve; todo vibra. -17 -
- 5.4. Nanoemulsiones. -27-
- 5.5. No a que inventen ellos -31-
- 5.6. No es tan fiero. -35-
- 5.7. Nuevos paradigmas. -43-
- 5.8. Oganesson. -47-
- 5.9. Para que sirve un niño. -47-
- 5.10. Per fumum. -57-
- 5.11. Perfilando la vida. -63-
- 3.12. Pesquisas basadas en la Ciencia. -67-
- 5.13. Plasmolisis y renovables. -77-
- 5.14. Podemos decidir. -83-
- 5.15. Por delante del experimento. -87-
- 5.16. Por encima del punto de partida. -91-
- 5.17. Preguntas y respuestas. -95-
- 5.18. Principios. -99-
- 5.19. Profundizando en la intimidad de las partículas. -105-
- 5.20. Queriendo contar. -109-

TRAZADO 5

Nuevos paradigmas

No es fácil conseguir aportar algo significativo y de alcance a la Ciencia. No basta con trabajar mucho y hacerlo acertadamente. Hay muchos investigadores que trabajan denodadamente. En todas partes se resuelven problemas, se plantean nuevos enfoques, se logran avances. La Ciencia requiere muchas mentes y toda la tecnología disponible para poder brindar a la sociedad a la que se debe, que es quien la financia, cosas que puedan suponer progreso.

Mientras una Ciencia o rama de ésta, no llega a tener fundamento suficiente para poder abordar su propia naturaleza desde el enfoque deductivo, no está suficiente madura para aportar algo significativo. El marco que se va creando en torno a un planteamiento científico, genera un escenario que se denomina paradigma en el que se desenvuelve. Con unas bases bien asentadas y

No es fácil aportar algo significativo a la Ciencia.

La Ciencia llega a ser tal, cuando adopta el método deductivo.

Hay que ser capaz de desenvolverse en ámbitos contraintuitivos.

La sustitución de un paradigma por otro, no es automática.

Lograr instalar un nuevo paradigma requiere imaginación, intuición, método, trabajo, constancia y acierto. Hay que dar tiempo al tiempo.

justificadas, todo encuentra una explicación y justificación cabal. El precio a pagar por la asunción del método deductivo es que es muy difícil, por no decir imposible, despojarse de sus reglas, para poder encontrar explicaciones y justificaciones con más fundamento, alcance y significación.

Si repasamos la historia de la Ciencia comprobaremos, cuanto costó el advenimiento de la Mecánica Cuántica como una infraestructura capaz de llegar más lejos y más profundamente que lo logrado desde la interpretación clásica que enarbolará Newton. Hay que ser capaz de pensar de forma contraintuitiva para poder dar el salto que requiere salir del marco convencional. La sustitución de un paradigma por otro nuevo, como explicara Feigenbaum detalladamente, no es automático. Toma su tiempo. Progresivamente hay que ir sustituyendo elementos básicos por otros nuevos. Al principio no solo es muy costoso, sino contraintuitivo. Pensar de esta forma requiere una dosis de imaginación fuera de lo usual, una intuición certera, un método inductivo en el que apoyarse. Por supuesto la exigencia de trabajo, constancia y acierto no pueden soslayarse. Finalmente, descansa en la intuición esa capacidad de acertar con el tema de trabajo. Una innovación solo se logra, cuando la aportación a la Humanidad es de alcance. No está al alcance de todos, naturalmente. ¡A la vista está!

Mundo ruidoso

La medida de las magnitudes no siempre está sujeta a una estabilidad y una precisión controlables. Los procesos naturales, como los artificiales, suelen estar sujetos a oscilaciones en sus registros lo que hace necesario el tratamiento de los datos con objeto de encontrar los valores significativos de las medidas. Las denominados fluctuaciones $1/f$ son muy comunes en la Naturaleza. Se han observado en física, tecnología, biología, astrofísica, economía, neurociencias, psicología, etc., en muchos procesos artificiales e incluso en música. El ruido $1/f$ es intermedio entre el denominado ruido blanco, que no presenta correlación con el tiempo y el ruido del paseo al azar o movimiento browniano, que no presenta correlación entre incrementos. El movimiento browniano es la integral del ruido blanco y la integración de una señal multiplica el exponente por dos, mientras que la diferenciación la disminuye en dos. Así pues, el ruido $1/f$ no se obtiene mediante un procedimiento simple de integración o de diferenciación de las señales. El ruido $1/f$ no se genera a partir de ecuaciones diferenciales estocásticas, ni siquiera lineales. La presencia del ruido $1/f$ en muchos y variados fenómenos parece indicar que debe haber una explicación matemática, pero no hay explicación cabal, salvo en contadas excepciones como en los casos de movimiento browniano fraccionario. Constituye, por tanto, un reto contemporáneo de la Ciencia en general.

Hay que tratar los datos para dar significación a las medidas.

El ruido $1/f$, es intermedio entre el denominado ruido blanco y el del azar

El enunciado formal es ruido $1/f^\alpha$ con $0 < \alpha < 3$. Si $\alpha=1$, entonces el ruido se denomina rosa. La presencia del ruido $1/f$ se ha tomado como indi-

gador de la existencia de estructuras especiales, como las auto-organizadas o como ruido multiplicativo, aunque no hay evidencias de tal cosa. En general, el ruido $1/f$ se refiere a un fenómeno de la densidad espectral de un proceso estocástico de la forma $S(f) = \text{cte} / f^\alpha$, siendo f la frecuencia en un intervalo entre 0 e infinito. Si tomamos logaritmos en la expresión anterior, el espectro de potencia $1/f^\alpha$ se convierte en una recta, cuya pendiente permite estimar $-\alpha$.

El ruido $1/f$ fue descubierto en 1925 por Johnson.

El origen del ruido de los tubos de vacío está en el paso de los electrones de los estados ligados y la banda de conducción.

El ruido $1/f$ fue descubierto en 1925 por Johnson al analizar los datos experimentales de la teoría de Schottky del ruido de encendido de los tubos de vacío. No era un ruido blanco a baja frecuencia y la descripción matemática resultaba ser una exponencial decreciente. Se interpretaba causado por la liberación de electrones en el cátodo del tubo de vacío. La conclusión empírica fue que, para valores de frecuencia próximos a cero, el espectro de potencia era casi constante y para valores elevados de la frecuencia era proporcional a $1/f^2$. Globalmente, la curva representativa era una lorenziana. En torno a los años 60, se insistió en la interpretación de que el ruido proviene de un fenómeno cooperativo derivado de la estadística de los electrones que se ven forzados a ir en cola al fluir a través de una varilla. Se interpreta que los electrones oscilan al azar entre los estados excitados y los ligados, encolándose para acceder a los lugares apropiados de los átomos que forman la varilla. La distribución de probabilidad de los tiempos de cola para la banda de conducción de los electrones libres excitados fluyendo en la varilla, es una superposición de las distribuciones exponenciales con peso, aproximadamente igual, dando lugar a la aparición del ruido.

El ruido $1/f$ es muy común en resistencias o amplificadores operacionales u otros equipos electrónicos. En estos dispositivos electrónicos es muy fácil generar un ruido $1/f$ y hacerlo con diferentes características pues, por fabricación, se pueden implementar los diferentes procesos manejando temperatura, peso, etc. En las resistencias se ha trabajado mucho y se han llevado a cabo experimentos sobre películas metálicas, encontrándose que el ruido del voltaje, la intensidad de corriente, la conductancia y las resistencias en conductores, semiconductores y otros dispositivos electrónicos está descrito como $1/f$.

El ruido $1/f$ es muy común en el ámbito de la electrónica.

Hay otros sistemas de interés en los que la descripción del ruido es la misma. Así ocurre con los denominados sistemas críticamente auto-organizados, que son sistemas dinámicos disipativos con muchos grados de libertad que operan cerca de una configuración de mínima estabilidad. Un ejemplo ilustrativo lo constituyen los corrimientos de tierra, las avalanchas de nieve o los terremotos. Cuando un sistema se encuentra en una configuración crítica, pequeñas fluctuaciones pueden desencadenar consecuencias de todos los tamaños, descritos por una función densidad de probabilidad que dan lugar a un ruido $1/f$, y el tiempo de vida de un evento de este tipo está relacionado con el tamaño del propio evento.

El ruido $1/f$ es de interés en los sistemas disipativos.

En los sistemas tanto vivos como no vivos el ruido más frecuente es el denominado rosa, que es menos uniforme que el blanco, con más altibajos. Los picos sucesivos de las contracciones musculares presentes en los electrocardiogramas del corazón humano presentan un espectro de potencia aproximadamente $1/f$. La oscilación postural de una persona de pie

El ruido rosa es menos uniforme que el blanco.

sobre el suelo también es $1/f$. Como afirma Musha, el espectro de potencia $1/f$ está relacionado con el mecanismo del control postural.

Las neuronas también producen ruido $1/f$.

Encefalogramas y magnetoencefalogramas muestran espectro de potencia $1/f$.

El cerebro no se escapa de producir el ruido $1/f$. El canal de ruido de las neuronas, que se cree que proviene de apertura y cierre al azar de los canales de iones de la membrana celular, se ha observado que es también $1/f$. Se aduce que un posible mecanismo es un modelo de vibraciones de cadenas de hidrocarburos de la membrana lipídica que afecta a la conductancia de los iones potasio, como evidenció Lundström y McQueen. En las series de fluctuaciones de la densidad temporal de los potenciales de acción, que es la inversa de la velocidad de transmisión, viajando a través de un axón de calamar, presenta un espectro de potencia $1/f$ por debajo de 10 hercios. Novikov ha evidenciado que la actividad del conjunto de neuronas del cerebro humano, registrado mediante magnetoencefalograma, también muestra un espectro de potencia $1/f$. Los electroencefalogramas también lo presentan. Se ha interpretado esta similitud de ambos tipos de registros como testigos de un proceso de autoorganización crítica de las redes neuronales del cerebro, aunque todavía es una conjetura y hay propuestas de no parecer asociados a estados críticos en actividades neuronales registradas simultáneamente sino más bien debidos a una especie de filtrado de la señal neuronal a través del tejido cortical.

Hay muchos otros procesos afectados por el ruido $1/f$, como ocurre en economía. Las funciones de autocorrelación de las series temporales, como los precios con el tiempo, no suelen decaer en el tiempo exponencialmente como ocurriría si el proceso que genera las

serie fuera un proceso autoregresivo. Las funciones de autocorrelación de las series temporales en economía alcanzan una asíntota no nula y permanecen ahí durante todo el periodo de la serie, indicando que los eventos económicos distanciados en el pasado, tienen influencia en los precios o en la producción, por ejemplo. Es lo que se denomina memoria del proceso y que se suele modelar como un ruido blanco fraccionalmente integrado modulado por otros procesos concomitantes.

En economía también está presente el ruido $1/f$.

El espectro de potencia de la fluctuación de la intensidad en una grabación del concierto de Brandeburgo N. 1 de Bach, al igual que en muchas otras grabaciones tanto de música como de la voz humana, radio incluida, se aproxima bastante bien a $1/f$ en tres décadas de frecuencia. Musha ha propuesto lo mismo para caracterizar dibujos y pinturas. Se ha identificado también en los espectros de potencia de las series de errores cometidos por los humanos al estimar los intervalos de tiempo. Del mismo modo se ha identificado en los tiempos de reacción en tareas de memoria y muchas otras propias de psicología experimental.

Tanto la música como la voz y otras grabaciones se aproximan bastante a $1/f$.

En dibujo y pintura aparece, así como en psicología experimental.

Vivimos un mundo ruidoso. Dominado, aparentemente por el ruido $1/f$, todo parece confabularse para tener algo en común. Los intentos por describir los fenómenos matemáticamente, no han aportado todavía la habilidad de lograr una explicación unificada. Hay varias formulaciones de los sistemas que dan lugar a espectros de potencia, pero no conllevan una explicación causal del origen del ruido. En todos los trabajos científicos es importante el control del ruido, con objeto de depurar las medidas y dotarles de una valoración significativa. Hay

El mundo es ruidoso. No disponemos de una explicación unificada.

En el trabajo científico es muy importante el control del ruido.

mucha gente trabajando en ello. De momento habrá que esperar algo para lograr una explicación razonable que nos permita acreditar las causas con garantía cabal.



Música y Ciencia

Mucho se ha escrito y se conoce sobre la práctica musical de muchos científicos. En especial es de destacar la relación Matemáticas, Física o Química, entre otros, con la música, que se ha basado, desde tiempo inveterado, en la facilidad y proximidad de métodos, prácticas y escenarios en que se desenvuelven. Claro, que es una relación susceptible de interpretaciones e imputable a características peculiares de algunos personajes. Hay otras vertientes, como veremos que soportan esta relación con mayor rigor y abren una ventana a una relación más próxima, comprometida e inspiradora.

Ciertamente, el manejo del pensamiento complejo es una práctica científica habitual y común en toda teoría científica. La música no solo es capaz de evocar recuerdos o despertar sentimientos, sino también tiene la capacidad de sintonizar o suscitar reacciones físico-emotivas que nos mueven desde momentos de tensión a placidez y viceversa, predisponiéndonos a una percepción selectiva del entorno, capaz de conmovernos. Las sensaciones que se suscitan, solamente con la ejecución de melodías pensadas para producir sensaciones concretas, nos hacen recordar los cánones de Bach, como los compuestos en honor de Federico II de Prusia cuando le invitó a su corte, para que probara los piano forte que acababa de adquirir, quizás los primeros que se produjeron, y dióle pie para que compusiera un canon que Bach bautizó con Canon eternamente ascendente, que quedó integrado en la Oferta Musical que fue la obra completa que dedicó a Federico el Grande. El canon eterna-

Métodos prácticos y escenarios aproximan Ciencia y Música.

La música no solo evoca recuerdos.

Recorriendo un itinerario de quintas se produce la sensación de ascenso constante.

Bach y la simetría.

Las obras de contrapunto y las fugas son auténticas transformaciones geométricas.

mente ascendente es una muestra musical del reconocimiento real, con una composición que produce la sensación sonora de que asciende constantemente, sin fin. Así de grandiosa concebía Bach la realeza de Federico II de Prusia. Tras efectuar un recorrido a través de quintas: Cm, Gm, Dm, Am, Em, Bm, F#m, C#m, C#m, G#m, D#m A#m E#m, B#m=Cm, llegamos al punto de partida, pero si repetimos se transmite la sensación de que el tono sigue aumentando. Bach fue un maestro de la genialidad que incorporó algo tan matemático y científico, como es la simetría a sus composiciones. Todos los cánones son un ejemplo sonoro de algún tipo de simetría. Por ejemplo, el Canon del Cangrejo, también incluido en la Ofrenda Musical, que es una pieza compuesta en 1747, con la particularidad de que la pieza se toca normal, pero el acompañamiento es la misma partitura interpretada al revés, es decir, desde el final al principio, siendo un auténtico palíndromo musical, lo que es una analogía musical de la Banda de Möebius, aunque ésta fuera descubierta mucho después, en 1858, 111 años después, hasta Canon es una composición musical en la que el mismo tema sirve como melodía y como acompañamiento, que puede dar comienzo un tiempo después de la melodía. En Matemáticas sería una repetición por traslación. Incluso Bach también tiene composiciones que incluyen la autosemejanza, que en opinión de algunos es una forma de música fractal. El Contrapunctus VII es una pieza donde se puede identificar en la partitura las distintas partes que conforman la autosimilaridad. La genialidad de Bach se muestra en las obras de contrapunto y en las fugas. Son auténticas transformaciones geométricas de los temas que introduce de partida: traslaciones, giros y simetrías. Dicho sea de paso, el

rigor estructural lo conjugaba espléndidamente brillando en la improvisación. Hay que reconocer que una fuga a seis voces presenta una dificultad alta de ejecución y mucho más si pensamos en la concepción. En el primer compás aparece el tema inicial do, re, mi, fa, re mi, do, sol. En el compás siguiente se repite subiéndolo una quinta: sol, la, si, do, la, si, sol re. Esto se repite muchas veces, a lo largo de la composición, que es una fuga. Todas los grupos de notas son transposiciones del tema. En páginas web de Internet podemos encontrar muchos ejemplos que ilustran estos aspectos señalados.

Bach conjugaba el rigor estructural brillando en la improvisación.

Otra vertiente es la asistencia de la música para comprender conceptos difíciles de entender. Rowe en un excelente editorial recoge unas referencias de científicos que destacaron por sus dotes musicales como compositores y como ejecutantes de piezas musicales. Uno de los primeros casos fue Maxwell que escribió la letra de una canción titulada Rigid Body Sings, que trata del movimiento de dos cuerpos rígidos en el aire. La cuestión es que escribió más de 40 poemas. Gamov también utilizó las canciones para introducir las ideas sobre conceptos físicos complejos, en su libro titulado Mr Tompkins, en rústica, que incluye tres arias para cantar por tres eminentes cosmólogos, que bautizó como *Opera Cósmica* y trata de las teorías del Universo entonces en voga. La primera de las arias fue cantada por Lamaitre y ya trataba del big bang; la segunda por el propio autor y trata de la expansión del Universo y la tercera cantada por Fred Hoyle y trata con la teoría del estado estacionario (esa que profeso Einstein y que le llevó a la formulación de la constante cosmológica, reconocida posteriormente por él mismo, cuando se demostró la

Muchos científicos destacaron como compositores o ejecutantes de piezas musicales.

Maxwell, Gamov, destacaron como músicos.

expansión del Universo por Hubble, que fue el mayor error que cometió en su vida. Los textos son una descripción científicamente precisa, en especial la de la teoría del estado estacionario, tal cual la concibieron Hoyle, Bondi y Gold. Hoy no tiene ningún valor. En todos los casos la pretensión es introducir canciones para facilitar la comprensión de los conceptos complejos que tratan de difundir. A título de ejemplo incluimos unos versos de esta última, referida por Rowe,

The aging galaxies disperse,
Burn out, and exit from the scene,
But all the while, the universe
it, was, shall ever be, has been,
Stay, O Cosmos, O cosmos,
stay the same !
We the Steady State proclaim!

En Química y en Medicina hay destacados músicos.

En Química también encontramos iniciativas parecidas. La edición de 1930 de *Industrial Engineering Chemistry* publicó varias canciones que trataban de aspectos químicos y los autores eran químicos. Una de ellas lleva por título *"I'm going to be a chemist"*. Una opereta como *"Los Piratas de Perzance"*, debida a Gilbert and Sullivan, incluye una canción titulada *"The Modern Doctor Chemical"*, que comienza así, *"I am the very pattern of a modern Doctor Chemical..."*. En Medicina, es común encontrar profesionales que usan las canciones para parodiar a sus colegas y sus temas son médicos. Bennett tiene un libro titulado *The Best of Medical Humour*, que incluye una colección de canciones propias de los conciertos universitarios.

Se da el caso de que, en ocasiones, algún científico ha sorprendido en una conferencia

presentando el trabajo en una canción. El ejemplo más carismático fue el de Shapiro, un histólogo que presentó su trabajo en 1977 en una Reunión de la Sociedad de Histoquímica, en Chicago, en una canción que se acompañó de una guitarra. Lo tituló "*Fluorescent dyes for differential counts by flow cytometry*". Incluía las partes canónicas de un estudio, con Introducción, metodología, resultados y discusión e incluso agradecimientos. A título de ejemplo, un par de versos que decían "*Blood cells are classified by cell and nuclear shape and size / And texture, and affinity for different types of dyes,*" Rowe apunta, que no hay constancia de como fue recibida la presentación por la audiencia. Si es cierto que fue publicada posteriormente por el Journal of Histochem and Cytochemistry.

Algún científico ha utilizado una canción en sus presentaciones científicas.

Todas las obras son inteligentes, humorísticas y parodian en distinta medida aspectos científicos y relacionados íntimamente con ellos. La Universidad de Purdue ha formado una orquesta que integra los conocimientos en matemáticas e ingeniería para perfeccionar la interpretación musical y los rendimientos académicos.

La orquesta de la Universidad de Purdue.

En otro orden de cosas, la música se ha empleado profusamente como terapia, pretendiendo mejorar y/o mantener la salud, tanto física como mental. Muchos aspectos científicos se han intentado describir mediante música. En casos, herencia de la música de las esferas que acuñara Pitágoras, asumiera Platón y nuestros días, han corroborado identificando música en el plasma primordial, en los agujeros negros o en todos los cuerpos celestes.

La música en los agujeros negros y en el plasma primordial.

*Ciencia y
Música: analogía.*

*La improvisación
musical es una
versión del prin-
cipio de incerti-
dumbre.*

Pero hay un aspecto más audaz de la música, consistente en protagonizar la analogía. En un excelente libro titulado el Jazz de la Física, que la Unidad de Cultura Científica ha patrocinado su lectura y he tenido el honor de servir de guía en su promoción, durante el último medio año, Stephon Alexander, un cosmólogo de primera línea, nos revela y desvela la relación íntima que ha vivido con el jazz y la cosmología, en una armonía capaz de servir de refugio, de inspiración y de motor de desarrollo científico en un campo tan enormemente complejo como es la cosmología. Los problemas planteados con suficiente nivel de complejidad, requieren de un ánimo mental muy particular para encontrar una inspiración sobre su posible resolución. Alexander lo encuentra en el jazz. No en la audición, sino en la ejecución. Una faceta peculiar del jazz, en sus múltiples y variadas versiones: free jazz, swing, bebop, etc. coparticipa de unos momentos de improvisación, que los profanos traducen con frivolidad en momentos de libre aportación, cualquiera que sea la iniciativa, sin reglas o condicionamientos. Nada más lejos de la realidad, por cuanto en esa compartición música - ciencia, los grandes ejecutantes conocen muy bien la música, la armonía, el ritmo y han practicado hasta la saciedad las ejecuciones de los grandes músicos de jazz, con lo que saben muy bien lo que pueden o no hacer en un momento dado de inspiración. Saben tanto que como diría Urthu : "*Cuando improviso, se muy bien la nota que tengo que tocar a continuación y sabiéndolo muy bien me vienen a la mente muchas otras soluciones. Mientras que cuando no lo se muy bien, son pocas las soluciones que me asaltan*" No es más que una reformulación del principio de incertidumbre con las restricciones que corresponden a dos magnitudes conjugadas,

tradicionalmente posición y velocidad (o momento). Cuántica, cuerdas, tienen en común con la música que manejan ondas: ubicuas, superponibles, descomponibles, transportando energía pero no materia. Mucho en común como para tener capacidad de inspirar. La analogía es la herramienta más poderosa para trasladar conceptos, para comprender leyes, para escudriñar y tratar de encontrar solución a problemas complejos. Ahí está la música como fiel compañera, capaz de facilitar ese tránsito.

Cuántica, cuerdas y música tienen mucho en común.



mm

TRAZO 5.3

Nada está inmóvil; todo se mueve; todo vibra

Las preguntas claves que la Humanidad se formula, desde que es consciente de su existencia, permanecen sin respuesta. Es cierto que hemos avanzado, mucho o poco, el futuro lo dirá, pero no lo es menos que las preguntas fundamentales siguen formando parte de ese anaquel de cosas a explicar: ¿cómo empezó todo esto?, ¿de dónde emergen las leyes que determinan la Naturaleza? son, entre otros, interrogantes que la Humanidad quiere contestar. Siempre lo ha querido hacer. Incluso cuando todavía no disponía de armazón intelectual razonable para abordar tales empresas. Magia, dioses y un largo recorrido en el que hoy, con perspectiva histórica juzgamos con benevolencia, necesariamente, pese a lo disparatado de sus propuestas y actuaciones. La búsqueda del conocimiento, el afán por descubrir es algo inherentemente unido a la persona, que es otro de los interrogantes básicos a dilucidar. Tenemos que aceptar que, pese a que cada descubrimiento conlleva descorrer la cortina y poner al descubierto un montón de interrogantes que no teníamos formulados antes de efectuar el citado descubrimiento, seguimos empeñados en descubrir. Un interrogante lleva a muchos otros. Y seguimos interesados y nos implicamos con ahínco en los nuevos retos, como si tal cosa. Hay que aceptar que no tenemos respuesta al interrogante de por qué esto es así. Pero es así.

Las preguntas claves, permanecen sin respuesta.

El afán por descubrir es innato al ser humano.

Hay que reconocer, no obstante que, en ese devenir histórico, el camino está plagado de

En algunos momentos históricos sí se ha impulsado el pensamiento con fuerza.

La cultura científica.

La "presabiduría" del Kibalyón.

altibajos. Pocos momentos han supuesto un gran avance. Entre otras cosas porque es difícil propiciar un gran avance científico. Seguramente en todas las épocas la Humanidad se ha sentido en posesión del conocimiento del mundo en algún momento. Nos pasa a los humanos a lo largo de nuestro recorrido. Muchas veces, además. Conforme la madurez se instala en tus sienes, vas ponderando más ajustadamente que ni todo va tan deprisa, ni tampoco era para tanto. Pero, ciertamente, algunos momentos si han tenido relieve histórico y han impulsado el pensamiento con fuerza como para ser capaz de cambiar el enfoque y lograr explicaciones más cabales. Puestos a identificar cuales son los momentos científicos estelares, tampoco tendríamos demasiado trabajo para lograr un escenario en el que incluir todas las aportaciones auténticamente significativas. Y, ciertamente, lo que va siendo común en ellas, forma ese destilado que muchos denominan cultura científica, que es el poso que la historia va dejando en ese devenir de la Humanidad que mantiene su objetivo de explicar las cosas fundamentales. Estamos entretenidos en muchos detalles, importantes, en casos necesarios, pero los fundamentales permanecen sin respuesta.

En casos, ocurre que la persistencia de una exigencia intelectual es de tal naturaleza que no logramos explicar fácilmente cómo es posible que tales inquietudes hayan aflorado en un momento dado, cuando el armazón conceptual, teórico e intelectual, necesarios para ello se han desarrollado muy posteriormente. El Kybalyón es un documento del siglo XIX, cuya autoría es anónima, de lo que no han derivado pocas especulaciones, que plantea siete principios o axiomas que pretendieron dar explica-

ción cabal al mundo, dentro del hermetismo. Uno de los principios es la vibración, que enunciado lacónicamente reza así: Nada está inmóvil; todo se mueve; todo vibra. Independientemente del carácter acientífico de tal aserto, no deja de sorprender el hecho, ya que emergió con mucha antelación a la introducción del concepto de vibración, como elemento capaz de sustentar una explicación racional para el contenido energético de la materia, cosa que tuvo que esperar hasta el siglo XX en que, primero Planck con la explicación de la radiación del cuerpo negro y posteriormente la Cuántica, pudieron dar cuenta de la importancia de la vibración en los contextos moleculares. Todavía más si, como algunos conjeturan, los sabios del antiguo Egipto planteaban tales afirmaciones, resulta demasiado sorprendente que pudieran disponer del significado que conlleva tal enunciado. No nos importe el tipo de textos ni su significado, ya que la cita solamente revela que la referencia a la vibración pudo darse bien temprano en la Historia de la Humanidad, como podría quedar recogida en este texto o en la propia Biblia.

En todo caso, la evolución del conocimiento científico de la vibración ha pasado por Pitágoras y su famoso experimento identificando la longitud de una barra de hierro (según otros, el peso del martillo con el que el herrero golpeaba) con el tono que alcanzaba y, sobre todo irrumpiendo en el escenario científico al percatarse que lejos de milagros o magias, muy de la época, la Naturaleza estaba dotada de leyes y lo que había que hacer era estudiarla, para comprenderla y describir las leyes que subyacían. Me emociono al tratar de ponerme en situación en una época, tan poco propicia como la que vivió en el siglo VI y V antes de

La vibración protagonista, mucho antes de conocer detalladamente su aportación.

Pitágoras identificó que la Naturaleza guardaba secretos que había que desentrañar.

Cristo y que fuera capaz de concebir este tipo de cosas. No se le ha hecho justicia proporcionada a este gigante de la Ciencia. Poco sabían entonces sobre la síntesis de vibraciones complejas, pero fueron capaces de identificar las armonías por la que se daban combinaciones de notas que resultaban agradables y otras, por el contrario, detestables.

Newton irrumpe en escena.

Newton puso las bases para entender la física de las cuerdas.

En torno a 1600 Galileo y Kepler se apasionaron por aquellas cosas que había descubierto Pitágoras. Seguían sin comprender cómo las cuerdas producían los sonidos armoniosos y algún componente de magia o de religión se colaba por los entresijos de la geometría divina y la armonía cósmica que condujo a Kepler a formular el sistema planetario. Pero ni uno ni otro fueron capaces de identificar que el fenómeno de la producción de sonido era una manifestación de una única fuerza, todavía no descubierta o identificada, hasta que no entró en la escena Newton. Hasta ese momento los objetos de la superficie de la Tierra, las trayectorias de los proyectiles y las masas en caída libre se describían mediante la mecánica galileana, la invariancia galileana, según la cual las longitudes y tiempos no se ven afectados por el cambio en la velocidad. Fue Newton el que demostró que los objetos se mueven en respuesta a fuerzas. Newton quería entender el movimiento de todos los objetos (en la Tierra y en el espacio) y publicó los Principia, en donde introdujo la gravedad. Los cuerpos caían a la Tierra y las órbitas de los planetas tenían explicación. ¡Genial! Logró deducir las leyes de Kepler de los movimientos planetarios, como caso particular de sus leyes universales. Puso las bases para comprender la física de las cuerdas, pero tendrían que ser sus sucesores los que descubrieran el movimiento

ondulatorio. Los conceptos de aceleración, masa y fuerza quedaron reunidos en una soberbia fórmula, bellísima. Todos los casos conjeturables encontraban solución: Caso en que no se aplican fuerzas externas, caso en que la fuerza que se aplica es constante, forma precisa de la trayectoria. Allá donde se requería más matemática de la conocida, acudía Newton (Leibniz también contribuyó decididamente) proponiendo lo necesario, por ejemplo, el cálculo diferencial. No pensemos que pudo ser trivial reducir el intervalo a una duración infinitesimal, para dar nacimiento a la ecuación diferencial. Elementos gráficos como la pendiente para expresar la primera derivada o la curvatura para representar a la segunda derivada, fueron decisivos. El cálculo diferencial entrañaba un fuerte componente conceptual, dado que una función se podía DERIVAR de otra, lo que dio nombre a la operación. Las derivadas han resultado ser unas herramientas poderosas en Ciencia e Ingeniería.

Si la Matemática no era suficiente, formulaban un nuevo tratamiento.

Uno de los casos que se pueden analizar a la luz de las leyes de la dinámica de Newton, es el de masa ligadas a un muelle. Estiramos y soltamos, viendo como se acelera y se cumple una relación lineal entre la aceleración, que es proporcional al alargamiento practicado en el muelle. El movimiento que describe una masa ligada a un muelle colgado sobre una superficie horizontal sin fricción es un movimiento oscilatorio o vibración en torno a una posición central de equilibrio. La gráfica del movimiento que describe es una curva en forma de onda. Siempre que la fuerza es proporcional al desplazamiento de la posición de equilibrio, se genera una onda. Así se llega mucho más lejos que lo que fueron capaces de alcanzar Pitágoras, Galileo, Kepler y Newton, que es a

La dinámica de Newton permitió abordar el estudio del movimiento vibratorio.

La curvatura genera la aceleración en la cuerda.

la vibración de las cuerdas. Si disponemos una serie de partículas que oscilan arriba y abajo (pensemos en una cuerda de guitarra constituida por partículas unas junto a otras), por la cuerda se propaga una onda que hace que todas las partículas oscilen y se transfiera el movimiento de unas a otras. La perturbación viaja. Si lo vemos de cerca, contemplaremos las partículas una a una, pero si nos alejamos perdemos la individualidad y apreciamos una onda. Cuando nos alejamos, la discretización se convierte en continuidad y entonces es cuando tiene sentido la derivación, como función, también. La ecuación obtenida a partir de la ley de Newton, que describe la amplitud de una oscilación de una cuerda entera en función del tiempo y de la posición, se resume en que el producto de la velocidad al cuadrado por la curvatura es igual a la segunda derivada con respecto al tiempo, es decir, la aceleración. Por tanto, la belleza de la ecuación de onda es que la curvatura (segunda derivada con respecto a la posición en un punto dado), genera la aceleración en la cuerda. Las dos funciones matemáticas que satisfacen esta ecuación son las funciones seno y su derivada, la función coseno.

Fourier estudió la distribución del calor en los sólidos conductores.

Y aquí entra en escena otro de los grandes científicos universales: Fourier. Partiendo de un problema muy concreto como el de la distribución de calor en los sólidos conductores introdujo ideas novedosas en muchas ramas de la Ciencia y la Tecnología, desde las telecomunicaciones, hasta los dispositivos actuales de imagen: TAC, MRI o los PET, encefalogramas o técnicas de espectrometría en todas sus vertientes, en astronomía, en geología, para detección de petróleo aplicando propagación de fenómenos ondulatorios, o en Química, en

especial en cristalografía o en biología molecular, procesado de imagen digital, robótica, medicina, etc. Introdujo un método de trabajo para encontrar solución a ecuaciones diferenciales que denominó separación de variables. Pasaba por descomponer cualquier función periódica, con periodo conocido, como superposición de ondas sinusoidales y una aportación clave fue proporcionar expresiones explícitas para los coeficientes que ponderan la contribución a la suma de cada vibración básica. El método era válido para una función arbitraria. Fue uno de los fundadores de la Física Matemática.

Fourier fue uno de los fundadores de la Física Matemática.

Básicamente, Fourier estableció que cualquier forma de onda compleja, que cambia con el tiempo, puede descomponerse en ondas sinusoidales puras de distintas frecuencias y amplitudes. Eso es lo que ocurre cuando vemos llover, en especial sobre un estanque, cada gotita de lluvia genera una onda y todas ellas, una onda compleja Y eso es lo que ocurre con los sintetizadores electrónicos, gracias a la capacidad singular de las ondas de sufrir interferencias, tanto constructivas como destructivas. Fourier nos proporcionó la posibilidad de caminar en los dos sentidos opuestos: de una función compleja descomponer en sus ondas puras componentes y viceversa.

Según Fourier, cualquier onda compleja se puede descomponer en ondas sinusoidales puras.

Y con ello desembocamos en el concepto de resonancia. Sin ella no sería posible ni la música ni el mismo sonido. Gobierna desde la generación de una nota en un instrumento, hasta las condiciones para la creación de una partícula en un acelerador de partículas. La resonancia resulta ser el medio mediante el cual la energía de una vibración puede transferirse de una entidad física a otra. Muchos obje-

Sin la resonancia no es posible el sonido.

La clave del funcionamiento de los instrumentos musicales es la misma que la de los aceleradores de partículas.

tos, como explica Alexander, también los instrumentos musicales e incluso los campos cuánticos, tienen una frecuencia natural de vibración que, al perturbarse pasan a una oscilación particular dependiendo del material de que están contruidos. Newton nos permite calcular esta frecuencia natural como la velocidad angular del movimiento ondulatorio dado por la raíz cuadrada del cociente entre la constante de fuerza y la masa. Un muelle más rígido, con mayor constante de fuerza, oscilará más rápido y si la masa es más pesada, pues oscilará más despacio. Si hay una fuerza externa que se aplica con una frecuencia distinta de la natural, el muelle oscilará con una amplitud menor. Pero si la fuerza externa coincide con la natural la amplitud aumenta rápidamente. Esta es la clave del funcionamiento de los instrumentos musicales, pero también lo es de los aceleradores de partículas.

Los instrumentos musicales están concebidos para resonar a un conjunto discreto de frecuencias.

Las cuerdas se pueden ver como cadenas lineales de masas conectadas mediante muelles. Fourier conjeturó ya tal cosa. Los instrumentos musicales están concebidos para resonar a un conjunto discreto de frecuencias que corresponden a las notas musicales que conforman su tesitura. La ejecución de sonidos en un instrumento tiene algo de artesanal en el sentido de que mediante algún elemento como una boquilla o una placa vibrante (generalmente de caña) se insufla aire y se controla para que resuene en el interior del instrumento. Eso es lo que hacemos tapando agujeros o accionando llaves. Newton desveló los secretos de la vibración y la resonancia y Fourier nos brindó la posibilidad de entender y construir formas de onda complejas a partir de ondas elementales, componiendo el perfil resultante a nuestro gusto. Pero no queda aquí la cosa, por cuanto

representan la clave para poder comprender las fuerzas fundamentales y alcanzar en algún momento el conocimiento de la estructura del Universo. La teoría de cuerdas actual busca las razones íntimas del Universo en las formas de vibrar que abarcarán desde la creación de partículas hasta la descripción de lo que en física de partículas concebimos como campos. Las cuerdas resultan ser un adhesivo capaz de unir la Cuántica, la Cosmología y la Música. Nada está inmóvil; todo se mueve; todo vibra.

Las ondas son la clave para entender las fuerzas fundamentales.



Nanoemulsiones

Históricamente, han habido dificultades para que la mayoría de los medicamentos se absorban en el tracto intestinal o para que crucen la barrera de la piel. El tamaño no solo importa, sino que es decisivo para posibilitar la superación de las barreras que los medicamentos encuentran para su ingreso en el cuerpo humano. El desarrollo de las nanoemulsiones es crucial, por cuanto pueden resolver la dificultad de penetración de los medicamentos en el organismo, al superar con facilidad esas barreras. Incluso las nanoemulsiones pueden servir como soporte portador para la distribución de medicamentos en áreas específicas o zonas objetivo.

La superación de las barreras que opone el cuerpo humano es un reto.

La nanotecnología es la rama científica que se ocupa de las partículas comprendidas en la escala nano. Se han encontrado muchas utilidades a estas partículas, en especial en el sector farmacéutico. Las nanoemulsiones constituyen una forma ventajosa de suministrar las dosis de las formulaciones farmacéuticas. Las gotas sumamente pequeñas de las nanoemulsiones favorecen mejor la absorción de las drogas. Así que, no solamente mejoran los sistemas convencionales de emulsión, sino que también ofrecen nuevas oportunidades para otros productos que se diseñen respondiendo mejor a la biodisponibilidad, permitiendo una dosificación más precisa y minimizando los efectos colaterales.

La nanotecnología trata con las nanopartículas.

Las nanoemulsiones favorecen la absorción en el cuerpo humano.

No cabe duda que la biomedicina ha cambiado recientemente con el desarrollo de la biotecnología.

Son muchas las formas de emplear las nanopartículas.

Las nanoemulsiones se estabilizan con moléculas que son surfactantes, conteniendo grupos hidrofílicos e hidrofóbicos.

logía. Ha emergido con especial intensidad en los últimos cinco años. Las nanopartículas se emplean en nanoemulsiones, que tienen un tamaño submicrométrico de partículas; nano-suspensiones, que son también suspensiones de tamaño de partículas submicrométrico; nanoesferas, que emplean matrices poliméricas; nanocápsulas, nanopartículas lipídicas, que emplean monocapas lipídicas encerrando un core lipídico sólido; dendrímeros, que son ramas tridimensionales de polímero de tamaño nano; nanotubos, que son secuencias a nano-escala de átomos dispuestos a lo largo de una estructura cilíndrica y nanocapas, que son esferas concéntricas y consisten en un core dieléctrico y una capa metálica.

Las nanoemulsiones son emulsiones de gotas cuyo tamaño entra en la escala nanométrica, en la que tanto las gotas de aceite como las de agua están finamente dispersas en la fase opuesta, con ayuda de un surfactante apropiado, que es una molécula capaz de estabilizar el sistema. Las moléculas de surfactante contienen grupos hidrofílicos e hidrofóbicos (la lecitina de soja y sustratos oleaginosos son los más usuales). Típicamente el tamaño de las gotas se sitúa entre 0.1 y 500 nanómetros. El tamaño concreto varía debido a la partícula concreta (medicamento), la energía mecánica, la composición y la cantidad relativa de surfactante, etc. Las emulsiones pueden ser de agua en aceite o aceite en agua. En el caso de aceite en agua, las nanoemulsiones varían entre un 5% y un 20% en peso. A veces se emplean nanoemulsiones de mezcla de aceites para mejorar la solubilización en la fase aceite. Se suele usar, también un co-surfactante o co-disolvente, además del surfactante usual, para facilitar la estabilización.

Las nanoemulsiones se diferencian de otro tipo de emulsiones en que aquellas muestran un patrón diferente en las propiedades físicas y reológicas conforme disminuye el tamaño de la gota. La estabilidad y la fácil penetración son las características distintivas de las nanoemulsiones. Dado el pequeño tamaño de las partículas y la menor tensión superficial entre las moléculas de aceite y de agua, apenas se da una tendencia a aglomerar o precipitar que disminuye la posibilidad de migración de la fase dispersa o la sedimentación, dado su mínimo peso.

Las propiedades físicas y reológicas cambian conforme disminuye el tamaño de las gotas.

Así pues, las nanoemulsiones son más estables y más traslúcidas que las emulsiones, incluyendo las microemulsiones. Todavía se han fabricado pocas nanoemulsiones orales, tópicas, oftalmológicas e incluso intravenosas. Se requieren surfactantes biodegradables. Parece adivinarse una gran utilidad en las terapias contra el cáncer o en la administración de vacunas. Aquí puede estar especialmente indicado el tratamiento mediante nanoemulsiones, dado que es difícil destruir las células cancerígenas con una mínima interferencia en las células normales.

Se requieren surfactantes biodegradables.

Se han referido preparaciones de nanocápsulas en su mayoría de preparados antimicrobianos (carvacrol, del aceite esencial del romero, d-limoneno, cinamaldehído, aceite de girasol, proteínas de guisante y monooleato de glicerilo), antiartríticos (ácido hialurónico), antioxidantes (resveratrol, curcumina), anticancerígenos (polimetoxiflavona), antiretrovirales (ritonavir, efavirenz y lopinavir) o psicoactivos (dopamina), que, por cierto, son capaces de atravesar la barrera hemato-encefálica.

Se han referido muchos preparados con nanoemulsiones.



7/1/07

TRAZO 5.5

No a que inventen ellos

La investigación científica consiste en el descubrimiento de nuevos conocimientos que nos permiten ir desentrañando los secretos que guarda la Naturaleza o, en ocasiones, producir nuevos materiales que no tienen necesariamente que estar en aquélla, con propiedades apropiadas para aportar utilidad. En otras ocasiones, se trata de descubrir procedimientos para mejorar los procesos en uso, siendo más eficaces o permitiendo aplicaciones nuevas que aportan o más bienestar o consiguen mejoras en el desarrollo de otras actividades.

*Naturaleza,
investigacion y
conocimiento.*

Con mucha ignorancia de la importancia que tiene este tipo de actividad, hay mucha gente que piensa que esto de investigar está reservado a gente de otras latitudes que dispongan de recursos suficientes y, en alguna parte, lo tienen que colocar. Así es que, con harta frecuencia se consume la vida, esperando que "otros" solucionen nuestros problemas. En cierta medida, también, muchos piensan que no hay capacidad suficiente en torno a ellos para abordar una investigación seria, meditada y capaz de solventar nuestros problemas. Un termómetro para desvelar estas conductas radica en el desprecio con el que nos desenvolvemos en el ámbito de la investigación desde el lenguaje cotidiano. No sólo consiste esta falta de respeto en esa conducta picaresca que enmarcara de forma lapidaria el genio de Unamuno: "que inventen ellos", sino con la referencia con la que calificamos cualquier actividad que no sería capaz de salir airosa del más mínimo examen con cierto rigor, para dis-

*Hay gente que
piensa que esto
de investigar es
"para otros".*

*Ocurrencia,
idea, invento,
novedad, proto-
tipo, desarrollo
e innovación.*

tinguir si se trata de una novedad o una simple "chorrada" sin vocación de más alcance. Hoy la ocurrencia, idea, invento, novedad, prototipo, desarrollo y si las cosas llegan a más, innovación, la suele reducir y resumir la gente algo ignorante, en una innovación desde el primer instante. Deberíamos huir de esos que nos hablan de innovación desde el primer instante, ni siquiera dando tiempo a que se invente algo. Hasta el lenguaje les traiciona. Como si estuviera al alcance del promotor llegar a alcanzar el calificativo de innovador. Solo el tiempo, la utilidad, las ventajas sobre lo existente y el beneficio para la Humanidad están acreditados para conceder tal rotulación. Pervertir el lenguaje es un signo del inicio de alguna trampa.

Es más frecuente considerar que las ideas nuevas, cuando implican novedades, las han de producir ellos (los otros), porque copiando se evita la inversión que supone el descubrimiento y se piensa que es un triunfo, desde la picaresca que se ahorra la inversión que exige la investigación. En estos ámbitos, cada vez con mayor escrupulosidad, no se abomina de la copia, del plagio, en la adopción a nivel privado de medios, procesos o mecanismos, y todavía se considera un triunfo el lograr adoptar lo que hace el vecino y "ahorrar", aunque debería calificarse con otro término más ajustado. Ni agentes públicos ni privados escapan de este anatema.

Nuestro país y también nuestra Región vienen "ahorrando" inversiones en investigación, también con acciones propias de la picaresca, como saltarse algún año y no cursar las convocatorias, con lo que la inversión no la hacen. Naturalmente que los investigadores afectados

tampoco avanzan lo que deberían por falta de recursos. En un sistema de Ciencia y Tecnología que funcione, los logros son proporcionales a la inversión. España tenía mucho recorrido por cubrir en la década de los ochenta, cuando decidió acometer un programa serio de investigación a nivel de país. El esfuerzo fue descomunal, pero se logró avanzar considerablemente. Otra cosa es que el mantenimiento del nivel de inversión no se hizo y el foso que reintrodujo, costará mucho tiempo en cerrarse y nos distanciamos de los países de nuestro entorno, esos con los que permanentemente queremos compararnos.

Un sistema de Ciencia y Tecnología avanza en función de la inversión.

A todo ello hay que añadir la carencia de una personalidad investigadora colectiva, regional y nacional, capaz de establecer líneas de interés colectivo e inducir a investigadores de entidad a acometer la resolución de algún problema de envergadura. El agua es uno de esos problemas para la Región de Murcia. El desarrollo de nuevas técnicas de captación de agua a partir de donde sea, y también del aire, ocupa a investigadores de otras latitudes, en algún caso de la vecina provincia. Con esto constatamos que "otros" no sólo están preocupados, sino que se ocupan y son ellos los que pretenden inventar. ¡Nos pasa poco!

Hay que resolver, también, los problemas que nos acucian, por mucha envergadura que tengan.



7/7/12

TRAZO 5.6

No es tan fiero

Ciertamente, aprendemos en cada instante de nuestras vidas. La capacidad de asombro no se agota. Probablemente, cuanta más preparación se pueda tener, mayor es el atractivo por descubrir que nos subyuga. Vivir en el ámbito de un Centro Docente de primer nivel, tiene añadido que es sumamente gratificante la elevada probabilidad de coincidir con algún compañero profesor o un alumno que te inquieta o capta tu atención sobre algo que no pensaste o alguna cosa que no imaginaste o alguna sugerencia sobre algo que no reparaste, o remembras alguna cosa que en otro momento atendiste, aunque ahora se revela con otros matices que te cautivan. El palpito de la vida diaria, conferencias que se imparten, coincidencias en ascensores o simplemente preguntas que, al hilo de una clase, se formulan y desencadenan reflexiones capaces de atraer la atención y encaminarte al disfrute intelectual.

Los interrogantes encaminan al disfrute intelectual.

Con el Profesor Hernández Córdoba me une ese tipo de amistad que no sólo no se olvida, sino que siempre está presta a renovarse. Estudiamos juntos. Hace algún tiempo compartimos eso que puede ser decisivo en una vida joven y es el "bocadillo" que una madre (en este caso la suya) suministra, con el ánimo de que se disponga del "fósforo" que precisan las cabezas dedicadas al estudio y no se vean mermadas por el esfuerzo persistente y reiterado de aquéllos que están dispuestos a vivir intensamente el descubrimiento del conocimiento. Nos iniciamos juntos, unimos nuestras vidas a compañeras de los mismos bancos de

Con el profesor Hernández Córdoba me une algo parecido a un enlace químico.

*Compartimos
"curiosidad cien-
tífica".*

clase, que también han compartido brillantemente la vida en la Universidad e iniciamos y seguimos la vida universitaria, aunque dedicados a disciplinas diferentes: Química Analítica, él, Química Física, yo. Siempre hemos permanecido cerca. Así nos mantenemos. La última de las aventuras compartidas, ha sido arrancar una Sección Territorial de la Real Sociedad Española de Química. Antes, muchas otras. Pero hay algo que planea cuando nos encontramos o coincidimos, de forma irremediable: la "curiosidad científica". El Prof. Hernández Córdoba tiene una virtud añadida, de extraordinario valor y es su entusiasmo por todo lo que tiene que ver con la Ciencia y la convicción de que el disfrute y la diversión son connaturales con el ámbito científico. Ha dado ejemplo de ello en muchas ocasiones. Los alumnos que hoy lo disfrutaban, saben bien que su talante cercano, la sugerencia certera, el interés inteligente, estimula la reflexión intelectual. Y eso es una bendición en este universo tecnocratizado que vive nuestra Universidad actual, disimulando bien, sino desviando, del único objetivo de una Universidad: que se genere conocimiento y que se aprenda.

*El arsénico es un
elemento químico
prototipo del
"veneno".*

Es el profesor Hernández Córdoba quién me ha dado a conocer los detalles de lo que a continuación narro. El trabajo original está firmado por Przygoda, Feldman y Cullen y está publicado en Applied Organometallic Chemistry en 2001, como revisión histórica. La curiosidad por todo lo que se publica es la que hace dar con este tipo de cosas y poder extraer consecuencias de hechos, fácilmente ignorados. Todo el mundo conoce que el arsénico es un elemento químico reconocido como el prototipo del veneno. Hay compuestos más temidos como la estricnina o el cianuro, pero la pelícu-

la que protagonizó Cary Grant y que dirigió Franck Capra en 1944 se tituló *Arsenic Old Lace* (En España *Arsénico por compasión*): las hermanas Brewster acaban con la vida de los solteros que sufren de soledad, dándoles a beber vino de bayas, mezclado con arsénico, estricnina y "una pizca de cianuro". En la película basada en el libro de Umberto Eco, recientemente fallecido, "*El nombre de la rosa*" no se consideró necesaria ninguna explicación del envenenamiento de los monjes, toda vez que se pronunció la palabra "arsénico", pero es que en el libro, ni siquiera se menciona el término. No hay duda de que los compuestos de arsénico son muy tóxicos en concentraciones pequeñas y en la forma de óxido de arsénico, polvo blanco, inodoro, poco soluble, que se denominó "*polvo de la herencia*". Hoy se detecta con facilidad, de forma que los envenenados necesitan productos más sofisticados.

Copiar no es un triunfo.

Pero como contrapartida, los productos de arsénico se han usado en medicina, tanto como óxido, como los dos compuestos sulfurosos que se vienen empleando terapéuticamente desde hace más de 2000 años. Del mismo modo, los derivados orgánicos del arsénico, se han usado para combatir la sífilis a principios del siglo pasado, aunque posteriormente se vieron superados por drogas más efectivas y menos tóxicas. Ya en el año 200 a.C. se describe el uso del *oropimente*, compuesto de arsénico y azufre de color amarillo y textura laminar o fibrosa y brillo anacarado) y el *realgar* (sulfuro de arsénico natural, en forma de granos entre rojo y anaranjado con brillo resinoso) en libros de medicina china. El óxido se usó en China para combatir la malaria en 1116. La moderna medicina china incluye en torno a 50 drogas que contienen arsénico a concentracio-

Productos conteniendo arsénico se han usado y usan en medicina.

Las disoluciones Fowler, Donovan o Valagin, muy conocidas en medicina, contienen arsénico.

La dosis letal se sitúa entre 0.07 y 0.18 gramos.

En muchas partes del mundo se ingiere arsénico.

nes en torno a 105 microgramos por gramo y las dosis son de 1 gramo de droga. En Occidente Hipócrates y Plinio describen el uso de los sulfuros en medicina. El óxido no fue considerado veneno hasta después de 1110 y hasta recientemente los compuestos de arsénico se han empleado en medicina para tratar gran cantidad de problemas internos y externos. Es muy conocida en medicina la disolución Fowler que contiene un 1% de trióxido de arsénico disuelto en carbonato potásico con un poco de tintura de lavanda para dar apariencia medicinal. La disolución Donovan como triioduro de arsénico o la del tricloruro denominada de Valagin. La de Fowler es la más popular y se mantuvo en la farmacopea británica desde 1809 hasta bastante después de la II guerra mundial. El tratamiento suponía 24 dosis diaria que contabilizaba un total de 0.112 gramos de trióxido de arsénico. Se cifra una dosis fatal para la ingesta por los humanos entre 0.07 g y 0.18 gramos y los síntomas aparecen en minutos u horas, tras la ingestión.

En el siglo XVIII se usaba, no exenta de efectos secundarios, para tratar enfermedades de la piel, neuralgias, fiebre intermitente, malaria, afecciones uterinas, sífilis, lumbago, epilepsia, anemia, ulceraciones, etc. Hoy se propone en China el uso del óxido de arsénico y de los sulfuros para tratar la leucemia y otras clases de cáncer. Se prescriben dosis de hasta 10 miligramos diarios durante 45 días, es decir un total de 450 mg para inducir la remisión de la leucemia promeolítica aguda. La ingestión crónica de arsénico en el agua potable se refiere usualmente en China, Taiwan, India, Chile, Argentina, entre otros. En la región del delta del Ganges, hay en torno a 100 millones de personas expuestas a la ingesta de compues-

tos de arsénico en cantidades astronómicas. En 1988 un estudio de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos concluía que el arsénico se debe incluir en el grupo A de carcinógenos humanos, por vía oral, usado en el tratamiento del cáncer de piel, al tiempo que proponía bajar el nivel máximo de contaminación del agua desde 50 microgramos por litro, fijado en 1945, a 2 microgramos por litro. La organización mundial de la salud lo establece en 10 microgramos por litro. Posteriormente hay evidencias de que la exposición al arsénico causa cáncer de hígado y de vejiga.

Se ha referido en varias ocasiones el efecto cancerígeno del arsénico.

La cuestión es que con este panorama de fondo, que nos transmite un riesgo y amenaza a la vida tiene una cara oculta que de forma muy significativa viene a decirnos con claridad meridiana que "*no es tan fiero el arsénico como lo pintan*", que diría el castizo. El contrapunto al carácter maligno de los compuestos de arsénico, en especial al trióxido, lo encontramos en la existencia de "*comedores de arsénico*" afincados en Styria, una región, ahora perteneciente a Austria, concretamente cerca de Graz. El hecho se conoce desde mediados del siglo XIX. En 1939 se presentó una Tesis de Farmacia en la Universidad de Graz, sobre Arsenicofagia, práctica de ingerir arsénico en la comida. Algunos habitantes de las regiones oriental y occidental de Styria adoptaron la práctica de comer arsénico en el siglo XII. Al trióxido de arsénico le llaman arsénico blanco y lo consumen usualmente en porciones de 300-400 miligramos durante periodos de 30 años o más. Hay comedores de arsénico que prefieren consumir la mezcla amarilla, conocida como "*oropimente artificial*", que contiene hasta un 90% de trióxido de arsé-

No es tan fiero el arsénico como lo pintan.

Los comedores de arsénico: arsenicofagia

Cinco razones poderosas que enarbolan los comedores de arsénico.

El arsénico era bien conocido y temido en Europa.

nico, obtenido por fusión del óxido con arsénico. Se cree que el consumo de trióxido de arsénico en cantidades letales requiere procedimientos concretos para asegurar no hacer daño. Esa creencia se ha pasado de generación en generación. Las razones que mantienen los comedores de arsénico son: a) realzan la belleza de las mujeres mejorando su cutis, b) facilita la respiración, c) ayuda a la digestión tras comidas pesadas, d) actúa de profiláctico frente a las infecciones, e) incrementa la valentía y f) aumenta la potencia sexual. Cinco razones muy poderosas.

El arsénico, como polvo blanco era bien conocido y temido en Europa central. En la epidemia de peste bubónica de los siglos XVII y XVIII los compuestos de arsénico fueron muy populares y económicos y su uso ampliamente generalizado, aunque su uso siempre fue controvertido. En el siglo XVII, se procede a dar arsénico en la comida a los caballos en el área de Styria. Lograban con ello una mejor apariencia y mejoraban su fortaleza. Ya se había empleado como pócima mágica y en varias curas tildadas de mágicas, aunque se ocultaba, especialmente por la iglesia. La compra era ilegal, las plagas se consideraban de origen demoníaco y esto provocaba que se practicara la automedicación y que los comedores de arsénico mantuvieran en secreto su hábito, para evitar problemas. Posteriormente la influencia de la Iglesia decayó y como consecuencia de varias plagas que sucedieron a la guerra de los treinta años, los comedores de arsénico comenzaron a extenderse en torno a 1700. Si los caballos mejoraban, se podría usar en medicina, fue, quizás la forma de justificar el hábito de comerlo. Una vez que la plaga se supero en Europa, se adoptó la excu-

sa de sus propiedades tónicas. No cabe duda que su empleo entrañaba la dificultad de cómo establecer la dosis apropiada. Los comedores de arsénico de Styria preferían usarlo en forma sólida, arsénico blanco, como trióxido, en lugar de disoluciones, dado que en el sólido se conoce la concentración, es más estable y fiable, por tanto. Su apariencia porcelanea indicaba la pureza. Algo parecido es aplicable al oropimente amarillo. Finalmente, la asimilación del sólido es más lenta y completa.

Los comedores de arsénico lo preferían sólido.

Los comedores de arsénico comenzaban a comer arsénico en pequeñas cantidades, en torno a 10 miligramos, aumentando cada dos o tres días hasta cantidades entre 300-400 miligramos. Sin duda, este régimen permite controlar la dosis de acuerdo con la respuesta que se perciba. Cortan la dosis de arsénico con un cuchillo de una pieza grande y como los cocineros expertos profesionales, a ojo, aciertan con la cantidad correcta a ingerir. Lo suelen ingerir con pan y bacon, ya que la combinación de la grasa con el arsénico reduce la absorción y la acidez de estómago. La forma de operar se ha transmitido de generación en generación secretamente, por lo que es difícil que aparezcan envenenamientos por falta de pericia, ya que sólo los iniciados tienen acceso. Styria demuestra que ¡no es tan fiero el león como lo pintan! Es cuestión de dosis, ah, y todo, incluso la dosis, ¡es relativo!

La combinación de la grasa con el arsénico reduce la absorción y acidez de estómago.

Solo los iniciados tienen acceso.

Todo es cuestión de dosis.



A. Requena

Nuevos paradigmas

Situémonos a finales del siglo XIX. Plena época victoriana (la reina Victoria reinó entre 1837 y 1901). El Reino Unido en pleno esplendor de su imperio y la Revolución industrial en la cúspide. Para algunos, los finales del siglo XIX se enmarcan en el victorianismo tardío, en el que se agudizan los problemas con Irlanda y se radicalizan los movimientos obreros. Son tiempos turbulentos en todas las esferas posibles. Los trabajos de los científicos como Darwin, cuestionaban propuestas seculares sobre el mundo, la Historia, la Ciencia e incluso sobre la Filosofía y la Religión. La revolución industrial eleva a categoría de protagonista el ferrocarril, que introduce la innovación asociada a un nuevo paradigma en relación con los desplazamientos: el campo se traslada a la ciudad, con la incidencia derivada sobre la economía de las comunidades. Las novedades concretadas en maquinarias que desplazan la actividad humana, *"que no podrían traer de la mano ninguna innovación, por la negatividad de su introducción"*, son condenadas por las organizaciones y movimientos obreros, que entierran la máquina junto con su inventor, para borrar su existencia. Momentos convulsos, que no necesariamente se han superado satisfactoriamente en tiempos posteriores.

A finales del siglo XIX los tiempos eran turbulentos en el Reino Unido victoriano.

La introducción del maquinismo fue muy problemática.

La Física vivía momentos estelares. En 1850, Clausius había enunciado, basándose en los resultados de Carnot, lo siguiente: *"es imposible que una máquina autónoma, sin ayuda de algún agente externo, transfiera calor de un cuerpo a otro más caliente"*. Muy poco des-

En la segunda mitad del XIX se formulan varios principios.

Clausius, Carnot, Kelvin, Planck, Caratheodory, protagonistas.

Enunciado del segundo principio de la Termodinámica.

pués, 1851, Kelvin proponía algo parecido, pero mejor matizado: *"es imposible construir un dispositivo que, utilizando un fluido inerte, pueda producir trabajo efectivo, causado por el enfriamiento del cuerpo más frío de que se disponga"*. Por su parte, Planck, en 1897 proponía: *"es imposible construir una máquina que funcione con un periodo regular que no haga otra cosa que elevar un peso y causar el correspondiente enfriamiento de una fuente térmica"*. Finalmente, Caratheodory, en 1909 establecía: *"en cada vecindad, arbitrariamente próxima a un estado inicial dado, existen estados a los que, mediante procesos adiabáticos, no se pueden acercar tanto como se quiera"*. Como corolarios de este principio, que son auténticos enunciados alternativos, se han formulado muchas versiones. La debida al propio Clausius establece: *"en un sistema aislado, ningún proceso puede ocurrir si a él se asocia una disminución de la entropía total del sistema"*. El aceptado como más general dice: *"ningún proceso cíclico es tal que el sistema en el que ocurre y su entorno puedan volver a la vez al mismo estado del que partieron"*.

El enunciado del segundo principio de la Termodinámica establece que: *en un estado de equilibrio, los valores que toman los parámetros característicos de un sistema termodinámico cerrado son tales que maximizan el valor de una cierta magnitud que es una función de esos parámetros, llamada entropía*. Estos parámetros se establecen en el primer principio de la Termodinámica: energía interna, volumen y composición molar son los que caracterizan un sistema en equilibrio. La presión o la temperatura se establecen en función de aquéllos, igual que la entropía. De entre todos los estados de equilibrio posibles, sola-

mente se da aquél que maximiza la entropía. Si un sistema aislado está en un estado de equilibrio y evoluciona hacia otro, se debe a que la entropía del segundo es mayor. La entropía solamente puede aumentar. Si el Universo partió de un estado de equilibrio, el segundo principio establece que: *la cantidad de entropía del universo se incrementa con el tiempo.*

Solo es posible el estado que maximiza la entropía.

En la Termodinámica Clásica la entropía se define como la relación entre el calor transmitido y la temperatura a la que se efectúa la transmisión. En el marco de la Mecánica Estadística, se identifica con el grado de desorden molecular de un sistema. En una sociedad como la descrita para finales del siglo XIX, con una revolución industrial en pleno esplendor, a la que se asociaba un nuevo impulso civilizador que imponía un nuevo orden en el mundo, la propuesta de que el Universo evolucionaba en el sentido de incrementar la entropía, es decir, que el desorden podía ser el final del mismo, era una conjetura de difícil aceptación. Un estado final en el que toda la materia se encontrara distribuida homogéneamente y a la misma temperatura, suponía una conjetura de "muerte térmica" poco comprensible. Además, simultáneamente Darwin y Wallace proponían la teoría de la evolución biológica que implicaba impulsar la dirección paulatina de emergencia de los seres vivos, cada vez más complejos, más ordenados, que no encajaba con el incremento de entropía. No había más desatino que la identificación irreflexiva de entropía con desorden. La complejidad de la evolución biológica no se situaba al margen de las leyes de la Física, como algunos eruditos proponían. Las novedades científicas, no siempre encuentran un camino de rosas para su introducción. El tiempo y la superación de las distintas prue-

No era una conjetura bien aceptada que el Universo evolucionara hacia la máxima entropía.

Según Darwin la evolución biológica impulsaba en la dirección de mayor complejidad y mayor orden.

*Una propuesta
requiere prue-
bas y tiempo.*

bas a las que se someten los enunciados, darán carta de naturaleza o no, a una propuesta.



1/1/11

Oganesson

Ciertamente la Tabla Periódica es una representación en construcción. No parece tener fin y, de tenerlo, no se vislumbra todavía. El último peldaño, por el momento, lo ocupa un átomo que encierra en su núcleo, nada menos que 118 protones. Su descubrimiento se anunció en 2006 y la IUPAC lo incorporó a la Tabla Periódica en 2015, tras las comprobaciones pertinentes. Su denominación responde al honor que se otorga a Yuri Oganessian, físico nuclear de origen armenio y director muchos años del Instituto de Investigaciones Nucleares de Dubna, en Rusia. Se le conoce por sus aportaciones al estudio teórico y experimental de elementos atómicos superpesados y por haber descubierto el elemento de número atómico 107, denominado Bohrio. En todo caso, ha participado en los trabajos que han conducido al descubrimiento del elemento 102, incluido en los actínidos, concretamente el Nobelio y los superiores, todos ellos caracterizados por una vida media muy corta.

En general, todos los elementos pesados de la Tabla Periódica proceden de experimentos llevados a cabo en aceleradores de iones y de los estudios de fisión nuclear, radiación de partículas cargadas y haces de iones radiactivos. Oganessian contribuyó al descubrimiento de los elementos Rhutherfordio, ^{102}Rf , Dubnio, ^{103}Db , Seaborgio, ^{104}Sg , Bohrio, ^{107}Bh , Nihonio, ^{113}Nh , Flerovio, ^{114}Fl y Livermorio, ^{116}Lv . El Oganesson es el elemento más pesado sintetizado y ocupa el último lugar del perio-

La Tabla Periódica es una representación en construcción.

El último elemento descubierto es el Oganesson

Los aceleradores de iones y los estudios de fisión nuclear han proporcionado los elementos más pesados.

El Oganesson pertenece al grupo 18, el de los "gases nobles".

Se supone que es un sólido en condiciones normales.

do séptimo, al tiempo que el único elemento sintético del grupo 18, el de los denominados gases nobles. Su masa atómica es 294, con una configuración predicha de $[Rn] 5f^{14} 6d^{10} 7s^2 7p^6$. La distribución predicha de los electrones por niveles responde a la serie 2, 8, 18, 32, 32, 8. Se predicen para él un radio atómico de 152 pm, un radio covalente de 230 y unos estados de oxidación de 0,+2 y +4. Una densidad de 13.65 kg/m^3 , el punto de ebullición situado entre 320 y 380. Es radiactivo y muy inestable, de tal forma que solamente se han detectado tres o cuatro átomos del isótopo 294. Dada su inestabilidad las propiedades se han determinado teóricamente. Primero se supuso que era un gas, aunque hoy se supone que es un sólido en condiciones normales. Inicialmente se postuló que la fusión de plomo y kriptón, en condiciones concretas, podía generarlo. Algo parecido se postuló con la fusión de Torio y Niquel o Uranio y Hierro o Plutonio y Cromo o Californio con Calcio. No estuvo exento de polémica dado que, primeramente, fue anunciado en 1999 por un grupo norteamericano que acabó reconociendo que había amañado los datos. La propuesta de 2006 no ha tenido cuestionamiento en el mundo científico.

El Oganesson descubierto en 2002 proviene de la reacción de Californio y Calcio: $^{249}\text{Cf}^{98} + ^{48}\text{Ca}^{20}$ obteniendo $^{294}\text{Og}^{118} + 3\ ^1_0\text{n}$. Este Oganesson se descompone radiactivamente, emitiendo una partícula alfa y pasando a Livermorio, ^{116}Lv , que a su vez pasa, emitiendo otra partícula alfa, a Flerovio, ^{114}Fl que, a su vez, emite una partícula alfa y pasa a

Copernicio, ^{112}Cn . Los periodos de semidesintegración son, respectivamente, 0.89 ms, 10.0 ms y 0.18s. Los cálculos mecanocuánticos proporcionan un periodo de semidesintegración de 0.66 ms. El nombre sistemático otorgado por la IUPAC fue Ununoctio, que refiere la posición en la Tabla Periódica, hasta que se confirme el descubrimiento. Finalmente, fue bautizado con el nombre Oganesson, en honor de Yuri Oganessian.

La síntesis del Oganesson es muy interesante.

Todos los elementos con número atómico superior a 101 se desintegran con periodos de semidesintegración inferiores a un día. El número de nucleones ocupando capas completas, otorga una estabilidad adicional generando islas de estabilidad, como ocurre con el grupo de elementos de 110 a 114. El oganesson es radiactivo. Los cálculos mecanocuánticos apuntan que hay otros isótopos más estables que el sintetizado actualmente. La configuración electrónica de la última capa $7s^2 7p^6$ le otorga la última capa completa, valencia cero y unos electrones firmemente ligados o que posibilitan unas propiedades físicas y químicas similares a los gases nobles, grupo al que se incorpora. Los cálculos mecanocuánticos le otorgan una reactividad superior al Radón y no tan "noble" como los gases de su grupo. No obstante, el número de electrones matiza las propiedades, incorporando una desestabilización energética y una expansión radial, que justificarían la reactividad del oganesson.

El Oganesson es radiactivo.

La configuración electrónica le confiere unas propiedades físicas y químicas similares a los gases nobles.

Es todo un reto, teórico y experimental, la estabilidad de los elementos superpesados. Todo parece indicar que los periodos de semidesintegración aumentan con el número de neutro-

Los elementos superpesados se pudieron formar en procesos de fusión violentos.

nes y la Tabla Periódica avanza hacia configuraciones que dan lugar a uniones más fuertes, que aumentan la estabilidad. Solamente, por la mera posibilidad de que sea así, es posible encontrarlos en la Naturaleza. Se buscan, aunque solamente sean trazas. Pueden haberse formado en procesos de fusión violentos en cualquier lugar del Universo y luego haberse diseminado. Por ejemplo, se sugiere que el elemento Darmstadio, ^{110}Ds , es estable, cuando integra 184 neutrones y químicamente se espera que sea similar al Platino, el inmediato superior de su grupo. Se le busca con Fluorescencia de rayos X y Espectrometría de masas en minerales de platino, aunque todavía sin éxito. Mientras tanto, solamente se pueden sintetizar, imitando, supuestamente, el proceso que acontece en el Universo.



Para que sirve un niño

La Presidencia de la Royal Society constituía, y constituye, el máximo reconocimiento a cualquier erudito inglés. Solamente se alcanzaba y se alcanza, tras haber prestado un servicio sobresaliente a la Ciencia, aunque todavía se podía esperar una aportación relevante del implicado. Sir Humphry Davy fue elegido presidente en 1820. El litigio que mantuvo con su esposa para divorciarse, le hizo perder el humor y el tiempo, incluso para trabajar en el laboratorio y cuanto había que hacer allí lo realizaba su alumno Faraday, que trabajaba desde hacía unos doce años con él, aunque Davy le seguía llamando "*su alumno*". No obstante, Faraday, además de los trabajos que realizaba con Davy, hacía experimentos propios y comenzaba a ver las cosas con mayor claridad que su maestro. Al principio Davy había seguido las aportaciones de Faraday con curiosidad, pero pronto pasó a ser envidia, porque le irritaba que un retoño vigoroso floreciera con energía. Esto le hizo ser injusto con Faraday, despreciar su trabajo y empequeñecer sus logros. Faraday soportaba estas injusticias con paciencia, hasta el punto de afirmar que "*lo desagradable es valioso*" porque "*nos forma y nos engrandece*", mientras que "*lo amable nos afemina*". Opinaba Faraday que "*había que soportar lo que la divina Providencia nos impone, sin contradicción y con serenidad*" y que "*Dios todo lo termina bien*". No en vano, Faraday pertenecía a la secta de los sammanianos, que enseñaba a sus fieles que la desgracia, en realidad, es la felicidad en la Tierra. En todo caso, las

Humphry Davy fue elegido presidente de la Royal Society en 1820

Faraday, alumno de Davy, comenzaba a destacar.

Davy fue el único que se opuso a que entrara en la Royal Society, su alumno, Faraday, por envidia.

Faraday siempre reconoció a su maestro por haberle iniciado. Cuando murió Davy, le dejó sus bienes a Faraday.

Faraday se planteó si podría obtener energía eléctrica a partir del magnetismo.

simpatías de los colegas de la Royal Society se decantaban por el alumno y cuando supieron que en la próxima sesión uno de los miembros iba a proponer el ingreso de Faraday, tuvo una uniforme adhesión de todos los presentes y se aceptó la proposición. La votación tenía lugar cuatro semanas después. Davy hizo todo lo posible para posponerla, pero al final tuvo lugar y en el balotaje solamente se encontró una bola negra, entre todas las blancas. Todos sabían de quien había sido. Cuando terminaban las sesiones, el elegido se dirigía a los partidarios y Faraday afirmó que todo lo que sabía se lo debía a Davy y que, gracias a él, que le había admitido como laborante para lavar cacharros en su laboratorio, estaba allí, independientemente de la actitud que tuviera con él. Faraday tendió la mano a Davy y se la estrechó afectuosamente. El 28 de mayo de 1829 en que murió Davy, se llevó una sorpresa fenomenal Faraday, ya que los bienes del difunto le fueron transmitidos a él.

Faraday comenzó su auténtica labor a los cuarenta años. Estuvo veinticinco años construyendo "su camino". Llegado el momento, concluyó esta etapa reparando lo que Oerstedt, Ampere y Arago habían averiguado: se podía producir magnetismo a partir de la corriente eléctrica, pero, ¿sería factible obtener energía eléctrica a partir del magnetismo? A la muerte de Davy, retomó los experimentos de éste. Aclaró algunos conceptos, dando denominaciones explicativas a fenómenos y procesos nuevos. La acción del fluido eléctrico sobre las combinaciones químicas las denominó electrolisis. A un elemento o un grupo "emigrante" hacia uno de los polos le llamó ión, que en griego significa "andante". Al polo positivo lo llamó "anodo" (en griego camino ascendente)

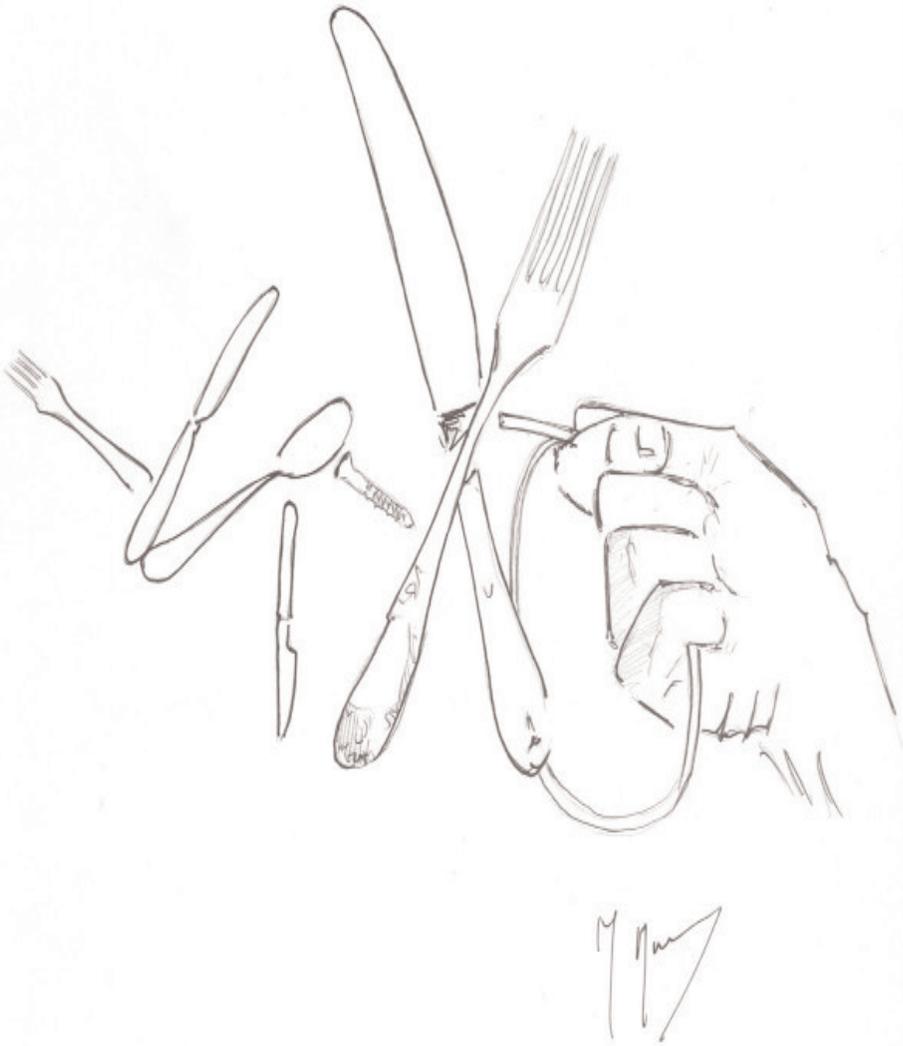
y al negativo cátodo (camino descendente). A los iones que caminan hacia el ánodo, aniones y hacia el cátodo, cationes. Determinó que las cantidades de electrólitos descompuestas eran proporcionales a la intensidad de la corriente y las cantidades descompuestas en diferentes electrólitos por una misma cantidad de fluido, eran siempre equivalentes, constituyendo hoy una ley básica de la industria mundial.

Faraday dio nombre a cátodo y ánodo.

Faraday sostenía ideas claras y deslumbrantes. Afirmaba, "*el trabajo no debe aspirar al beneficio, sino que debe ser dirigido como ayuda al prójimo*". Le solicitaron rogando que aceptara la presidencia de la Royal Society, a él, al hijo de un herrador, hermano de un hojalatero y aprendiz de encuadernador, sobre todo para poder leer algún libro. Tras aceptar, realizó el experimento más importante de su carrera: el fluido eléctrico era capaz de engendrar magnetismo. Un día indujo un campo magnético en un alambre de cobre, haciendo pasar una corriente. Cuando presentó el experimento en la Royal Society fue mayor el estu-por que el aplauso. Al acabar se le acercó un comerciante que apoyaba económicamente a la Royal Society y le dijo: "*Muy bonito lo que usted ha hecho, mister Faraday pero, dígame usted ¿para que sirve semejante inducción magnética?*" Faraday le contestó realmente indignado: "*¿para qué sirve un niño?*"

Solicitaron a Faraday que aceptara ser Presidente de la Royal Society.

Indujo un campo magnético en un alambre de cobre, haciendo pasar una corriente eléctrica.



Per fumum

La propia denominación "perfume" (per fumum), indica que es volátil, que se propaga a través del humo. En su origen se perfumaba el ambiente, mediante la combustión de resinas, maderas olorosas o raíces que producían humo. Si bien etimológicamente se incardina en el mundo latino, no es menos cierto que el origen es muy anterior. Perfumarse es un concepto que se pierde en el tiempo. Los antiguos griegos y romanos alcanzaron un refinado uso de fragancias y perfumes. En Roma se comercializaban en unas tiendas denominadas *tabernae unguentaria*. Eran negocios familiares que heredaban los secretos del proceso de generación en generación. Se guardaban en recipientes de alabastro, al ser impermeable y poder lograr la estanqueidad. Los recipientes más económicos de cerámica eran más populares en Grecia y en Roma. Los sustituyó el vidrio, mucho más asequible.

Uno de los problemas a solventar consistía en el soporte para mantener los perfumes, por cuanto un compuesto volátil se escapa y hay que ingeniárselas para sujetarlo. Para ello se utilizaban sustancias grasas. El alcohol como soporte de las sustancias aromáticas comenzó a utilizarse en el siglo XIV. Usualmente, se empleaba el aceite de oliva o de sésamo o de lino, incluso de almendras. Se le agregaban como conservantes o colorantes, por ejemplo cinabrio o una planta herbácea perenne, muy ramificada y poco leñosa, cuyas flores de cáliz acrecente tienen una corola amarilla y florece entre mayo y julio. Los griegos usaban la orca-

En su origen se perfumaba el ambiente mediante combustión de resinas y maderas olorosas.

Como soporte se empleaban sustancias grasas.

Los griegos usaban la orcaneta para dar color a los aceites, etc.

En el antiguo Egipto se emplearon pastas coloreadas.

Un manual de cosmética se atribuye a Cleopatra.

neta para dar color a los aceites, pintarse los labios y colorear polvos. Se ha empleado ampliamente como colorante, incluso en tiempos casi contemporáneos, porque en 1880, cuando Guerlaine creó el maquillaje, lo hizo a base de una pomada con mantequilla fresca, cera de abeja, raíces de orcaneta y racimos de uvas negras sin pulpa, que coloreaban los labios sin producir, por vez primera, ningún efecto secundario.

Ya en el antiguo Egipto se usaron pastas coloreadas obtenidas de plantas, animales o minerales. Se data en 4000 a.C., según el historiador Herodoto de Halicarnaso, que vivió en el siglo V a. C. Se usaban, tanto por hombres como por mujeres. Aplicaron pigmentos rojos en labios y mejillas, perfilaron las cejas, tiñeron los cabellos y cuidaron la piel y la higiene corporal empleando desodorantes. El maquillaje se concebía con una dimensión sagrada y concretaba la unión humano-divina. Los perfumes, en cambio, purificaban, disipaban malos olores. En el itinerario funerario se incluían perfumes y ungüentos, como constató el arqueólogo Carter, cuando descubrió la tumba de Tutankamon. En el siglo II d.C. se conoció un manual de cosmética que se atribuía a Cleopatra. La primera receta de crema se atribuye a Galeno y sería muy próxima a la que hoy se denomina cold cream. En la Edad Media decayó el uso de los cosméticos, en contraposición al mundo musulmán, que los enriquecían con perfumes fuertes. En los conventos se guardaban las fórmulas, como la del *agua mirabilis*, precedente de la actual colonia o los cosméticos de Hildegarda de Bingen. En el Renacimiento se incrementó el uso, pues los malos olores, derivado de la falta de higiene, había que mitigarlos. En el siglo XVII se desta-

pó una época de ensalzamiento de la virginidad, que conllevaba decolorar los cabellos con lejía y la cara, escote y manos con el corrosivo soliman. Posteriormente, vino la moda del colorete (color de Granada) en las mejillas, como contraste a la piel blanca obtenida con harina de arroz. La cosmética conllevaba riesgos de envenenamiento, por los ingredientes que se usaban. Se llegaron a emplear compuestos de bismuto o plomo, para blanquear la cara y el colorete de la cara contenía plomo, azufre o mercurio.

La cosmética conllevaba riesgos de envenenamiento.

Los pintalabios de uva negra y orcaneta no dejaban huella al besar. En 1926 se propuso un pintalabios de carmín indeleble, que dejaba huella y comenzó a vigilarse y formular normativas, antecesoras de la de 1998 en España, que evaluaba los efectos perniciosos o no deseados para no consentir que perjudiquen, con certeza y sin riesgos y, por tanto, más seguros.

Un pintalabios propuesto en 1926 dejaba huella.

El repertorio de aromas en la antigüedad fue muy amplio. El de rosas ocupaba un lugar prominente, aunque muchos otros fueron también afamados: canela, azafrán, mirra, nardo, narciso, membrillo, etc. Las fórmulas eran complejas. Plinio refiere la del perfume de rosas: flor de rosas, aceite de azafrán, cinabrio, cálamo aromático, miel, junco oloroso, flor de la sal, orcaneta y vino. Dioscórides precisa, incluso cuantitativamente, señalando que hay que usar hasta mil pétalos de rosa, para obtener el perfume de ésta. Para extraer el aroma vegetal, se empleaba el prensado, la maceración en frío y la maceración en caliente, en las que se colocaban capas sucesivas de aceite y pétalos, que se sustituían tras un tiempo, para lograr mayores concentraciones de aroma.

El repertorio de aromas en la antigüedad fue muy amplio.

Obviamente, en la maceración en caliente se aplicaba calor.

Aceites y cremas para todos.

Para Dioses, para difuntos, para vivos y muertos, para hombres y mujeres, jóvenes y viejos, en el kit de belleza se contenían y contienen los unguentarios que incluyen los aceites y cremas, cuyos excesos se recogían con el estrígilo. Hoy, en general, cuidamos más las proporciones, también por el precio. Pero antes y ahora acompañan a los humanos que cuidan de ofrecer una proximidad atractiva. La dulzura de la distancia corta.



M. M. /

Perfilando la vida

De forma intuitiva, distinguimos, muy fácilmente, lo que está vivo de lo que no lo está. Pero si intentamos formular una definición, la cosa no resulta tan simple. Sí parece aceptado universalmente que los extremos de la materia viva se sitúan entre el ser humano y el átomo. Entre ellos, todas cuantas posibilidades quepa imaginarse.

No es fácil perfilar la definición de vida.

Las definiciones clásicas de vida proceden del ámbito biológico, tal como aquella que considera que los ingredientes son la ingesta de nutrientes, la excreción de los productos sobrantes, el crecimiento o desarrollo y la reproducción. Estos marcadores se consideran óptimos, aún cuando estén contaminados por nuestro conocimiento de la vida en la Tierra. Pero, a poco que ahondemos, esta definición se nos va a quedar escasa. Por ejemplo, pensemos en una llama, la de la clásica vela de cera, por ejemplo. La llama ingiere nutrientes, ya que los toma del aire en forma de oxígeno y el combustible (normalmente parafina) lo toma de la propia cera. La llama de la vela produce, a su vez, y como consecuencia de su actividad, productos de deshecho, que no hay más que observarla para ver las caprichosas "estalactitas" de cera que crea y que descienden como chorreando, formando figuras, muy frecuentemente, fantasmagóricas. Finalmente, crece, porque llega a cubrir grandes áreas y da la sensación como de que puede reproducirse creando nuevas llamas mediante chispas. Está localizada gracias a un gradiente de temperatura y de concentración y podría estar viva.

Las definiciones clásicas de vida proceden del ámbito biológico.

La llama de una vela responde a los requisitos de la definición convencional de vida.

Heráclito es uno de los primeros filósofos para quien el fuego es el principio.

Heráclito afirmaba que todo está en el cambio constante, que el ente deviene y todo se transforma en un proceso de continuo nacimiento y destrucción al que nada escapa. Es uno de los primeros filósofos físicos, para quién el fuego es el principio, metafóricamente hablando, refiriendo con ello el movimiento y cambio constante en el que se encuentra el mundo. Esta constante movilidad se fundamenta en una estructura de contrarios. La contradicción está en el origen de todas las cosas.

Una de las características de los seres vivos es la adaptación al medio.

Una de las características de los seres vivos es la adaptación al medio. Por si fuera poco lo dicho, una llama también se adapta. La forma alargada de las llamas se explica razonando el efecto de la gravedad. El aire caliente del interior de la llama es menos denso que el aire que está alrededor de aquélla. Esa es la razón de que ascienda el aire caliente de la llama dentro del más frío de las inmediaciones. Así, se conforma una figura alargada, típica de la llama de las velas y de cualquier llama en cualquier parte. ¿Qué ocurrirá en un lugar en el que no haya gravedad? De estar presente el oxígeno, la combustión sigue estando asegurada, pero ahora el aire del interior de la llama, más caliente que el del entorno, no pesa, porque no hay gravedad, luego su densidad no es menor, luego no tiene razón alguna para ascender en el aire menos caliente que le circunda. Por tanto, la forma de la llama no será alargada. El aire caliente se difundirá, por igual, en todas las direcciones, sin ser preferente ninguna de ellas. Se formara una llama esférica. Para nuestros efectos, se ha adaptado la llama al entorno, en este medio ingravido. Siguen, por tanto, presentes en la llama, las características que observamos en los sis-

La llama de una vela, en ausencia de gravedad, es esférica.

temas vivos. La Química del "metabolismo" de la llama supone unas 350 ecuaciones químicas que describen la combustión y esto se puede considerar como una receta del tipo ADN.

La NASA ha elegido como definición de vida la siguiente: "*Es un sistema químico autosuficiente, capaz de sufrir la evolución darwiniana*". Una alternativa podría ser : "*Un sistema vivo es aquél capaz de efectuar el metabolismo y propagar información*". Las dos se quedan cortas. La vida es tan compleja, que ya presenta dificultades la propia definición.

La definición de vida de la NASA.



M
me

Pesquisas basadas en la Ciencia

Los científicos valoran más lograr la verdad, que alcanzar cualquier reconocimiento o gloria humana. Es algo consustancial: razonar como científicos. Los métodos que aplican para descubrir cosas y tomar decisiones son muy útiles, no solo en su labor de científicos, sino en cualquier otro "empleo" que pudieran desempeñar. Es decir, que lo que saben como científicos, en áreas no científicas queda relegado en segundo plano con respecto a los métodos que aplican para desentrañar conocimiento. La Naturaleza digital de la identificación mediante el ADN es un método muy poderoso al permitir cuantificar precisamente las diferencias entre individuos y especies.

Descubrir la verdad es el afán de los científicos.

El carácter único del ADN es una valoración estadística. Podría repetirse una secuencia genética, dado el carácter azaroso del proceso, aunque siendo muy improbable, implicaría a un número de personas mayor que el número de átomos del Universo. El ADN se mantiene inalterado en la mayor parte de las células, desde la infancia a la vejez. El número de bases que forman la cadena del ADN es tan enorme que se puede cuantificar las que se comparten con familiares o con grupos de población afines, de forma que la paternidad y las relaciones genéticas se pueden establecer con garantía. La revolución que gestaron Watson y Crick propició que un gen se pueda aislar. La comparación de un conjunto de genes de los padres y los de un niño permite establecer la ascendencia. La huella del ADN es más individual que las tradicionales huellas dactilares y cualquiera

La repetición de la secuencia del ADN es muy improbable.

otra conocida. En este estado de cosas, ¿cuáles son las razones para que las pruebas del ADN puedan ponerse en entredicho?

La amplificación (PCR) permite obtener muchas copias de ADN.

El primer elemento de sospecha se puede basar en los errores de que puede ser objeto la secuenciación. El error humano subyacente en la equivocación o derivado del sabotaje pueden considerarse como en cualquier otro medio de identificación. Un arma que han tocado personas inocentes, además del asesino, puede llevar a cometer errores de identificación. Claro que, en el caso de manejar el ADN, las cosas son más sensibles, dado que una contaminación con sudor del técnico que conduce la prueba, puede confundir el resultado. La amplificación, que técnicamente se denomina PCR (Polimerasa Chain Reaction), inventada en 1983 por Mullis, consistente en obtener un gran número de copias de un fragmento de ADN, partiendo de un mínimo, con lo que facilita la tarea de identificación, es necesaria y deseable, pero los errores también se amplifican.

Dos fuentes de error: los falsos positivos y los falsos negativos.

Desde luego si todas las pruebas de ADN hubiera que desestimarlas por los errores potenciales, con la misma razón habría que prescindir de los otros tipos de procedimientos de identificación. Hay dos tipos de fuentes de error estadísticos que Dawking denomina falso positivo y falso negativo, que equivalen a un culpable que se libra porque no se le identifica y a un inocente se le condena por identificarse como similar del culpable. Cuando se efectúa una rueda de identificación, la probabilidad de error es inversamente proporcional al número de personas presentadas en la misma. Veamos la situación equivalente en el caso del ADN. Si se transcribiera la secuencia de genes

completa de las dos muestras que se comparen, la probabilidad de error sería de uno en miles de millones (el genoma haploide tiene una longitud total de unos 3000 millones de pares de bases). Salvo en el caso de gemelos idénticos, la probabilidad de que las secuencias de ADN de dos humanos sean coincidentes es, prácticamente, nula. No se puede pretender repetir el esfuerzo que se ha desarrollado en el proyecto del genoma humano, para cada caso judicial que requiera una identificación mediante prueba del ADN. Se considera suficiente concentrarse en esas zonas del genoma que varían mucho en la población. El genoma contiene sectores variables. Hay muchas zonas que nunca se leen y, por tanto, no se traducen en las proteínas respectivas. Es como si una gran parte de nuestros genes no hiciera nada. Estas zonas son las apropiadas para las pruebas del ADN. Ello conlleva el peligro de que dos individuos fueran idénticos en esa porción de ADN examinado. Cuanto mayor sea la sección de ADN, menor será la probabilidad de error (lo que ocurre en cualquier procedimiento de identificación como la aludida rueda).

La probabilidad de que las secuencias de ADN de dos humanos sean coincidentes es, prácticamente, nula.

Si tratamos digitalmente la información contenida en el ADN, podemos medirla en bits y bytes, como la memoria de los ordenadores. En el ordenador, la base que soporta, físicamente, el bit, es una ferrita, semiconductor, soporte magnético, óptico o combinaciones de ambos, capaz de mantener dos estados (0 y 1) y manipularlos mediante programas. En el ADN hay cuatro bases y podemos considerar que los 0 los convertimos en las bases A o C, mientras que los 1 los convertimos en G o T. Si atendemos a ello, el número de diferentes "arreglos", para almacenar números o informa-

La información contenida en el ADN se puede medir en bits y en bytes.

La caàcidad de almacenamiento de informaci3n del ADN es impresionante.

ci3n textual se trata de variaciones con repetic3n de dos elementos A-C (0) o G-T (1) tomados de 3000 millones en 3000 millones, es decir: $2^{(3000.000.000)}$, que ocupan en torno a 1.000.000 micrometros. Una cantidad astron3mica. Se han conseguido almacenar en un gramo de ADN, la friolera de 720.000 Gigabytes (700 Terabytes, $2^{(40)}$ bytes). Queda mucho todav3a por lograr. La bacteria *Escherichia coli* tiene una ADN de 4000 kb(kilobases) de longitud, lo que equivale a 1360 micrometros. En un virus bacteri3fago T2, T4, T6, unos 166 kb de longitud y unos 55 micrometros y en el virus de la peste aviar unos 280 kb y 193 micrometros.

Solamente un 1% de las bases que conforman el ADN, codifican prote3nas: unas 90.000 prote3nas.

El caso es que, de en torno a las 3000 millones de bases (megabases) del genoma humano, solamente un 1% codifica prote3nas, contenido en unos 21.000 genes que codifican 90.000 prote3nas, seg3n ha puesto de relieve el proyecto ENCODE, que tambi3n ha identificado unas 70.000 regiones que se ligan a prote3nas para controlar la expresi3n de los genes, unas 400.000 regiones que regulan la expresi3n de los genes y unos 2.9 millones de regiones a las que se ligan prote3nas, pero solamente unas 3.700 de estas regiones son compartidas por todas las c3lulas. Se le viene denominando a esta parte del ADN, "basura", aunque, como podemos ver, se le van encontrando otras funciones de inter3s para el organismo. Gran parte del ADN no codificante, que no se expresa en prote3nas, est3 implicado en funciones de regulaci3n, por tanto puede estar relacionado con enfermedades. No obstante puede que partes del ADN basura, sigan sin tener sentido, por ser repeticiones de pautas complicadas, incluso. Es probable que parte del ADN siga

sin tener utilidad en la supervivencia del animal, pudiendo ser útil para el que sobrevive y puede efectuar copias de sí mismo. Claro que el ADN que no se utilice es susceptible de variar, no así los genes útiles que están muy limitados en su capacidad de cambio. Una mutación de un gen reduce su eficacia y en la mayoría de casos, el animal muere sin transmitirlo a su descendencia. Pero si la mutación tiene lugar en el ADN basura, es posible, incluso que se den en una zona de repeticiones y no sean advertidas por el mecanismo de la selección natural. Esto es lo que ha propiciado elegir esta parte del ADN, para efectuar las pruebas de ADN, dado que aquí es donde se sitúa la mayor parte de las variaciones. Es más, si las repeticiones son en doblete, resultan particularmente útiles, porque suponen una variación del número de repeticiones, y esto es relativamente fácil medirlo.

Si la mutación tiene lugar . el llamado ADN basura, puede tener lugar en una zona de repeticiones que no advierte el mecanismo de la selección natural.

Jeffreys, de la Universidad de Leicester propuso examinar las repeticiones en doblete, porque cada persona tiene un número diferente de repeticiones en un lugar concreto. En cada región de repeticiones, cada uno de nosotros tenemos un número diferente de ellas. Esto es, como una huella dactilar. Nuestros padres nos las transmiten, ya que los cromosomas se heredan completos, incluyendo las zonas de repetición en doblete. Como cada uno de los cromosomas paternos se alinea con los maternos y se intercambian fragmentos, antes de que un cromosoma compuesto pase al espermatozoide que actúa engendrando, cada uno de ellos y cada óvulo tienen una mezcla única de genes maternos y paternos. Esto, naturalmente afecta, tanto a las secciones cromosómicas con sentido, como a las secciones con repeticiones en doblete. Esto supone que las

La región del ADN de repeticiones en doblete es como una huella dactilar.

Las repeticiones en doblete son propiedades de los cromosomas mismos.

repeticiones en doblete se heredan, como cualquier otra característica o rasgo. Solamente hay una diferencia y es que mientras que los rasgos, como el color de ojos, supone una respuesta conjunta de genes paternos y maternos, las repeticiones en doblete son propiedades de los cromosomas mismos y no se pueden medir por separado en los paternos y maternos. Es decir, en la región de repetición en doblete, hay dos posibles lecturas correspondientes al número de repeticiones del cromosoma paterno y al materno. En los cromosomas, pueden darse mutaciones (naturales, aleatorias) en el número de repeticiones en doblete, o bien puede darse una división por entrecruzamiento cromosómico y esto justifica que haya variación en el número de repeticiones en doblete dentro de la población.

Podemos medir los dobletes.

La cuestión es la facilidad con la que podemos medirlo. Ni siquiera hace falta determinar la secuencia detallada de las bases del ADN. Se recurre a una técnica que recuerda la determinación de áreas mediante pesada del recorte de la figura. Veamos en qué consiste, por lo ingenioso del procedimiento. Se prepara una sonda de ADN, que consiste en una secuencia de unas 20 bases, que encaja con la secuencia de la zona de repetición en doblete. Hoy día es muy fácil conseguir esto, porque se producen secuencias cortas de ADN con cualquier especificación. Incluso se incorporan marcadores radiactivos, que facilitan el proceso. Otra herramienta necesaria es la llamada "*enzima de restricción*" que permite reconocer y cortar el ADN en determinados lugares. Su función es localizar una secuencia concreta en un cromosoma y cortar donde se encuentre otra secuencia preestablecida, con otra enzima de restricción. Normalmente, proceden de bacterias que

hacen esto como acto de defensa. Si seleccionamos una enzima de restricción, cuya secuencia diana no figure en la zona de repetición en doblete, el resultado será que el ADN completo resultará cortado en fragmentos cortos que terminan en la secuencia específica de la enzima de restricción. Bien, de esta forma, no necesariamente todos los fragmentos contendrán repeticiones en doblete, pero algunos sí y la longitud de los fragmentos tendrá relación con el número de repeticiones que contenga. La longitud se mide en una columna electroforética empleando gel de agarosa o acrilamida. Se vierte en la columna una disolución conteniendo los fragmentos cortados del ADN y al aplicar la corriente eléctrica los fragmentos resultan atraídos por el otro extremo (negativo) de la columna, desplazándose a través del gel. La velocidad de desplazamiento está relacionada con el tamaño de los fragmentos, viajando más deprisa los más pequeños. Al cabo de un tiempo la columna contendrá una distribución de fragmentos de todos los tamaños. Para visualizarlos se emplean las sondas radiactivas. Si se extiende el contenido de la columna sobre papel secante, que se ha rociado con una disolución de la sonda radiactiva específica de la zona de repetición en doblete, objeto de análisis, el contenido resultará absorbido en el papel secante, pero las moléculas de la sonda radiactiva se alinean a lo largo del papel secante, emparejándose siguiendo las reglas del apareamiento de bases del ADN, con sus números opuestos en las repeticiones en doblete. Tras lavar el papel, solamente permanecerán las moléculas radiactivas enlazadas con sus opuestos exactos. Ahora aplicamos al papel rayos X, tras situarlo sobre un trozo de película, con lo que resulta impresionada por la radiactividad, gra-

Para visualizar los fragmentos se emplean sondas radiactivas.

Al aplicar rayos X la película queda impresionada por la radiactividad.

bando una serie de bandas oscuras (como un código de barras), cuya pauta es la que leemos y resulta ser como la huella dactilar.

La medicina forense emplea una media docena de sondas diferentes.

Una estrategia para aplicar el procedimiento al ADN con objeto de identificación, consiste en bombardearlo con muchas sondas simultáneamente, con lo que obtenemos una mezcla de bandas oscuras, que se confunden y se produce una mancha borrosa, procedente de todos los tamaños de los posibles fragmentos del ADN. Esta vía no es útil a efectos de identificación. Otra alternativa es utilizar una sonda cada vez, buscando un locus genético concreto. Ahora se producen barras nítidas, dado que medimos longitudes de fragmentos de dobles repetitivos. En la práctica lo que se utiliza en medicina forense es una media docena de sondas distintas.

Las pruebas van encaminadas a declarar a un sospechoso inocente o culpable.

La probabilidad de error es baja, pero si precisamos que se trata de que la libertad de la gente depende de ello, hay que afinar. La prueba se emplea para declarar a un sospechoso inocente o señalarlo como culpable. Si efectuamos una única sonda de ADN para investigar un locus de repetición en doblete y las muestras que se comparan son diferentes, el sospechoso es exonerado. No hace falta investigar un segundo locus. Si comparan el mismo código de barras, es compatible con que el sujeto sea culpable, pero no lo prueba. Podría darse que nuestro sospechoso compartiera el mismo código de barras con el verdadero delincuente. Hay que investigar algunos loci más. Supongamos que siguen coincidiendo. Hay que analizar la cuestión estadísticamente, para valorar que la coincidencia sea fortuita. Partamos de la probabilidad que hay de que dos personas de la pobla-

ción en general, tengan el mismo locus analizado. Supongamos el caso en que solamente una persona en un millón, tiene el modelo de código de barras identificado. La probabilidad de condena errónea no es de uno en un millón, ya que el sospechoso puede pertenecer a un grupo minoritario de población, que por alguna razón sus antepasados se asentaron en el lugar en el que se investiga. Esto genera que una población tenga frecuencias altas de genes locales concretos. Si el sospechoso y el verdadero delincuente pertenecieran al mismo grupo poblacional, la probabilidad de confusión casual puede ser espectacularmente mayor que si nos referimos a la población en general. Ahora precisamos conocer la frecuencia del modelo del código de barras en el grupo al que pertenece el sospechoso. Evidentemente, en todo caso, siempre que se examinen un suficiente número de loci genéticos distintos, se puede reducir la posibilidad de identificación errónea, por debajo de cualquier otro método de identificación.

Es preciso cuidar los grupos minoritarios de población.

Vemos como la Ciencia aporta útiles herramientas para aplicarlas con garantía sobrada a resolver complejos problemas. Cabe resaltar que se trata no solo de aplicar lo que saben los científicos, que también, sino de los métodos que aplican en sus trabajos para descubrir cosas y contribuir a construir el conocimiento que nos permite y fomenta el progreso.

La Ciencia aporta herramientas con garantía: conocimiento y método.



Plasmolisis y renovables

Pocos son conscientes de lo que supone el que cuando presiona un interruptor de su vivienda, aparezca ipso facto, la energía que precisa para poder iluminar la estancia. La magia que los niños sa- o sub -saharianos ven en el hecho, tan ordinario para nosotros, de que por un grifo mane agua es algo parecido en el caso del suministro eléctrico. Piense que al tiempo que usted ilumina su casa, el vecino también lo hace y si hace frío son centenares o miles, los que al tiempo quieren conectar sus aparatos de calefacción eléctrica. Y, salvo circunstancias muy extraordinarias, hay para todos. Si lo piensan bien, parecería milagroso y como si el suministro no tuviera límite.

Pareciera que el suministro eléctrico es ilimitado..

En cambio, cuando nos hablan de energías renovables, lo primero a destacar es que la generación se equilibra muy mal con la demanda. Las previsiones son que Alemania necesitará en 2030 34.5 Twh (terawatios) y en 2050 ascenderá a 110-140 Twh. En Francia se sitúa en 15 Twh para 2030 y entre 44 y 91 Twh en 2050. En España se prevén 15 Twh para 2020 y la total para 2050 asciende a 99 Twh.

La generación de energía renovable dista mucho, hoy, de la demanda.

Las grandes demandas de energía renovable nos enfrentan con la cuestión de su almacenamiento. Una forma de hacerlo es depositarlo en enlaces químicos, que ofrece una mayor capacidad para almacenar densidades de energía elevadas y son más fáciles de transportar y de distribuir que las baterías, aire comprimido o el hidro-bombeo, pongamos por caso. Por ejemplo, la conversión de la electrici-

El almacenamiento de la energía renovable es la clave.

Una solución es la integración de la red eléctrica y la gasista.

dad procedente de energías renovables, en metano, tiene una capacidad contabilizada en Holanda de 552 Twh, solo para la red de gas. Por contra, Noruega almacena 15 Twh en potencia hidráulica y la producción diaria media europea, de electricidad es de unos 10 Twh. La integración de la red eléctrica con la red de gas supondría una solución equilibrada. La expansión de la red gasista es muy ventajosa frente a la de la red eléctrica, por cuanto el transporte es más económico en un factor 10.

Es preciso reducir la producción de dióxido de carbono.

Por razones obvias, es precisa una reducción de la producción de dióxido de carbono, directamente implicado en el calentamiento global. La de-carbonización de los sistemas productores de energía es un imperativo de primer orden. Se ha convertido en un mantra, supone ir descartando los hidrocarburos y promocionando el hidrógeno, el amoniaco o las baterías, en su lugar. Ahora bien, un combustible libre de dióxido de carbono podría actuar directamente para estabilizar las emisiones, algo parecido al ciclo biogeoquímico natural. El prerequisite sería reciclar el dióxido de carbono existente, después de usarlo, extraer el dióxido de carbono de los gases de las chimeneas o directamente del aire.

La habilidad fotosintética de la Naturaleza inspira aplicaciones.

La habilidad de la Naturaleza para generar hidrocarburos mediante fotosíntesis ha inspirado los procedimientos para obtener mediante síntesis combustibles con densidades elevadas de energía y de forma sostenible. Una de estas vías ha sido emplear los fotones solares mediante un proceso natural y artificial a través de la electricidad como intermediaria. Los retos que plantea son la eficiencia energética del proceso, la densidad de energía que debe ser elevada, al igual que el rendimiento, que se

empleen en su fabricación materiales asequibles y dispuestos abundantemente y lograr una respuesta rápida al actual suministro intermitente de obligado cumplimiento.

Aunque pueda resultar atractiva la conversión directa, tiene la servidumbre de poca eficiencia. La tecnología de conversión indirecta ya permite producir combustible con una eficiencia un orden de magnitud superior. Por ejemplo, la energía fotovoltaica a través de electrolisis produce hidrógeno con un 20% más de eficiencia. Revertir la reacción de desplazamiento del agua en fase gas, para crear syngas (gas de síntesis, como combustible gaseoso) seguido por la reacción de Fischer-Tropsch, para producir combustible de hidrocarburos líquido, alcanza una eficiencia del 10%.

La conversión directa es poco eficiente.

La conversión electroquímica tradicional se basa en los electrolizadores alcalinos. Recientemente se emplean membranas poliméricas de electrolizadores, que son muy eficientes, pero emplean platino como catalizador en el cátodo. Otros procedimientos requieren células con oxígeno sólido, altas presiones (50 bares) y temperaturas (700-800 °C) para producir hidrógeno con una eficiencia en torno al 80%. El Ytrio, Zirconio dopados con lantano, estroncio, cobalto, ferrita y samario, son otras alternativas.

La conversión electroquímica es otra alternativa.

La conversión en plasma químico o plasmólisis permite aumentar la densidad de potencia en más de un orden de magnitud, comparado con las células de electrolisis de oxígeno sólido. Se logran producciones a nivel de megavatios. El plasma facilita el desdoblamiento del dióxido de carbono mediante el mecanismo de excitación vibracional de las moléculas. Pero ese

La Plasmolisis logra producciones de megavatios.

plasma está débilmente ionizado, ya que solamente 1 de cada 100.000 moléculas están ionizadas. Como están relativamente frías, similar a una lámpara fluorescente, la energía para producir el plasma es un factor relativamente bajo en el balance de energía.

Son precisos materiales eficientes para capturar y desorber dióxido de carbono.

Para cerrar el ciclo del combustible y convertir el dióxido de carbono en neutro, el emitido debe ser capturado después de usar el hidrocarburo producido, desde la fuente inicial (como potencia fósil) o desde la atmósfera para generar las emisiones dispersadas de dióxido de carbono por los vehículos de todo tipo. Por tanto, debe ser capturado y parece incluso más razonable, hacerlo en el océano, por la ventaja de su elevada concentración. Las plantas que lo capturan directamente del aire o de los océanos no están ligadas a los lugares de emisión, ya que las plantas pueden estar situadas en cualquier punto del globo. Por tanto, los retos de investigación incluyen el desarrollo de materiales eficientes para capturar y desorber dióxido de carbono, incluyendo los líquidos iónicos, que tan eficaces se han mostrado.

El plasma se crea mediante una descarga de microondas y los electrones que se aceleran, excitan vibracionalmente a las moléculas de dióxido de carbono.

En la plasmólisis, el plasma se crea mediante una descarga de microondas y se aceleran los electrones que, a su vez, excitan vibracionalmente a las moléculas de dióxido de carbono, mediante un ligero choque, ya que la máxima sección eficaz es de 0.4 eV. Las moléculas de dióxido de carbono, mientras tiene lugar la colisión, ocasionalmente puede colisionar con otra molécula de dióxido de carbono, lo que supondría excitación de sobretonos y esto supondría que una molécula se excita a costa de otras como ella. Eventualmente esto puede dar lugar a que se rompa la molécula de dióxido de car-

bono, por ejemplo, ya que uno de sus enlaces moleculares tiene 5.5 eV y esto provocaría la liberación de una molécula de monóxido de carbono. Se revela como un proceso eficaz, al tiempo que necesario para que las energías renovables puedan formar parte de un suministro estable y ponderado, eliminando las enormes servidumbres que hoy plantea y dificulta su uso generalizado.

La Ciencia aporta herramientas con garantía: conocimiento y método.

Al final, todo queda en un punto común: la necesidad de investigar. No hace falta que añada la necesidad de recursos para ello. No solamente se solventan los inconvenientes con la voluntad de los investigadores. Administraciones, empresarios, emprendedores, algún día deberían tener más altas miras y, dejando aparte, intereses mal orientados o solamente basados en la obtención de lucro o resonancia social, podrán pensar que el interés colectivo, también les afecta a ellos mismos, sus familias y el resto de humanos. En otros países hay hermosos ejemplos de ciudadanos altruistas, que incluso fueron empresarios sin preparación que, por azares del destino triunfaron, los que luego aportaron recursos para impulsar la investigación, sin ligarla a sus intereses prosaicos. Si otros lo han hecho, ¿no podría sucedernos a nosotros algún día? ¿Podría algún día el Consejo Social de la Universidad, ser lugar preferente, para los que están dispuestos a traer proyectos, recursos, ayuda y problemas a resolver para progresar ellos y los demás? En algún sitio ha ocurrido, ¿por qué no nos va a pasar a nosotros algún día? Ahora tienen la ocasión. ¡Toquemos madera!

Una conclusión es clara: hay que investigar.



Handwritten signature or initials, possibly 'M' and 'A'.

Podemos decidir

La aleatoriedad en algunos fenómenos se detectó en las décadas de los setenta y ochenta del pasado siglo y se podían explicar haciendo uso de leyes sencillas. La población humana responde a un crecimiento exponencial con un incremento de un 9% cada lustro. Si lo expresamos mediante una ecuación, diremos por ejemplo, que la población hoy, $P(2016)$ es igual a una constante (α) por la población de 2011, es decir, $P(2016) = \alpha \cdot P(2011)$, siendo α una constante, denominada tasa de crecimiento. En el caso de la población mundial, $\alpha=1.09$. Como cada cinco años se multiplica por 1.09, la tasa responde a una progresión geométrica y la ley que sigue la población es una ley exponencial. Cada 40 años, se duplica la población. Malthus ya propuso tal cosa, en 1798, aunque añadió, y aquí el drama, que los recursos aumentaban en progresión aritmética: 1,2,3,4,... Por tanto, era cuestión de tiempo tener dificultades, si no se controlaba el crecimiento, ya que predecía la duplicación de la población cada 25 años, un factor más alto que el real.

Cada 40 años se duplica la población.

Según esto, la población es un sistema dinámico discreto: un sistema, conjunto de elementos; dinámico, porque cambia con el tiempo y discreto porque la ley ofrece resultados en periodos de tiempo fijos, pero no en cada instante, lo que lo convertiría en un sistema dinámico continuo. Matemáticamente, se expresa mediante una ecuación (ley) en la que la variable, en este caso población, en un momento dado, es función del valor de la misma variable

La población es un sistema dinámico discreto.

Para Malthus la ley que describe a la población era lineal.

en el instante anterior. La teoría de Malthus utilizaba una función lineal y su representación gráfica es una línea recta y esta función solo responde a tres comportamientos posibles: si la constante es mayor que 1 la población crece exponencialmente; si es menor que 1 disminuye con el tiempo y tiende a cero y, finalmente, si el factor es 1 la población no cambia. Para que pueda darse el comportamiento caótico, la ley que rijan el proceso natural, tiene que ser no lineal.

May introdujo que el factor de proporcionalidad dependería de la población.

Robert May modificó la teoría de Malthus para estudiar la dinámica de poblaciones. A Malthus ya le pareció que el crecimiento indefinido no podría mantenerse, por cuanto la falta de recursos limitaría el crecimiento. May consideró que el factor de proporcionalidad debía depender de la población y no ser constante: a mayor población, menor tasa de crecimiento: $\alpha = r(1 - p/p_m)$, siendo p la población, p_m , el valor más elevado medido de la población y r la tasa de crecimiento más alta posible. La ley ahora es $f(x) = r(1 - x)x$, y se denomina aplicación logística. Es aplicable a cualquier población de cualquier especie, en un ecosistema. La ley de May es muy sensible a los valores de r . para $r = 3.2$, la población oscila entre dos valores definidos; para $r = 3.5$, oscila entre cuatro valores y para $r = 3.678$, la población varía erráticamente. A partir de un valor $r = 3.57$, el comportamiento es caótico. Es decir, sin catástrofes, meteoritos o invasiones externas, una población puede llegar a la extinción por su propia dinámica interna. Este es un sistema caótico determinista. Su comportamiento depende sensiblemente de las condiciones iniciales y la irregularidad de aquél deriva de la no linealidad de las ecuaciones que los mode-

Aplicación logística.

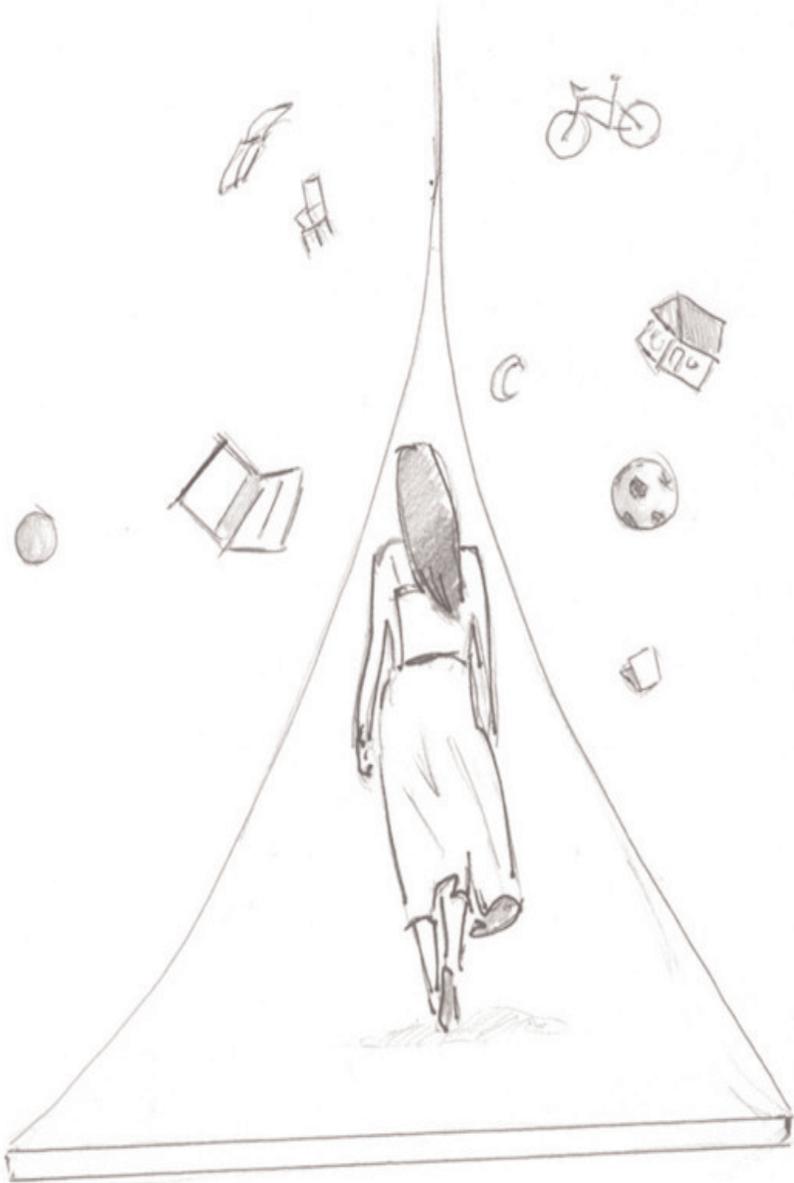
Sin catástrofes externas, una población puede llegar a la extinción por su propia dinámica

lan. Una de las características más notables de estos sistemas es la autosimilaridad, que significa que en partes de él se reproducen comportamientos del sistema completo, (como una miniatura). Otro rasgo distintivo es la universalidad, por la cual sistemas muy diversos acceden al comportamiento caótico recorriendo las mismas rutas. Los líquidos son otro de los sistemas especialmente proclives al caos, en lo que tiene que ver con su comportamiento con la temperatura. Partiendo de dos estados muy próximos, un sistema caótico puede evolucionar a estados futuros muy distintos.

Un sistema caótico determinista depende de las condiciones iniciales.

En el contexto del determinismo, inherente al modelo que soporta la Mecánica Clásica, que no deja resquicio para una posible alteración del devenir hacia el futuro y la Teoría de la Relatividad no permite la existencia de un Super Ser conocedor de todas las posiciones y velocidades de todas las partículas que se requeriría para poder modificarlo, porque transgrediría la limitación de la velocidad de la luz. Por otro lado, la imposibilidad de previsión en el marco probabilístico de la Mecánica Cuántica excluye la libertad de elección y el libre albedrío. Por ello el caos determinista es la única ventana que nos permite decidir. El futuro está contenido en las leyes, pero son sensibles a las condiciones iniciales. Podemos decidir.

El caos determinista es la única ventana que nos permite decidir.



M/1/20

TRAZO 5.15

Por delante del experimento

Estamos asistiendo con frecuencia, en los últimos tiempos, a descubrimientos experimentales de predicciones teóricas. En algunos casos, hace mucho tiempo que se esperan con anhelo las observaciones que ahora se logran. Ponen de relieve la capacidad deductiva de la Ciencia, cada vez más raramente equivocada. Las ondas gravitacionales han sido el último episodio en que se ha ejemplificado lo dicho.

Asistimos a descubrimientos experimentales de predicciones teóricas.

Es un hecho ampliamente conocido que, mientras que la teoría clásica describe el mundo macroscópico en el que nos desenvolvemos los humanos, la teoría cuántica describe el mundo submicroscópico que es el subsuelo de aquél. Dado que se plantea la existencia de dos descripciones, que muchos creen incompatibles, parece obvio plantearse que hay una escala, a la que el punto de vista clásico, que interpreta el mundo continuo, deje de ser una aproximación aceptable de la realidad observada. Se ha propuesto que, dado que las constantes físicas fundamentales, como la velocidad de la luz, la gravedad y la constante de Planck, son las mismas en cualquier parte del Universo, cuando las combinamos para que dimensionalmente sean una distancia, nos ofrecen la denominada escala de Planck. La presencia de la constante de Planck provocará que la gravitación tendrá que dejar de ser clásica y se comportará como cuántica y el propio espacio-tiempo de la relatividad (que es una teoría clásica) dejará de ofrecerse como continuo, tanto como espacio como tiempo.

La presencia de la constante de Planck provocará que la gravitación se comporte como cuántica.

Las cosas cambian de la continuidad a la discretización.

Es imprescindible conciliar las Físicas Clásica y Cuántica.

La teoría de cuerdas es un intento de superar las dificultades.

La existencia de la escala de Planck, incluye longitud, tiempo y energía, en que las cosas cambian de la continuidad a la discretización. La geometría, que la relatividad promueve como la curvatura del espacio, provocada por la presencia de la masa, al alcanzar la escala de Planck dejará de ser la que conocemos. Por cierto, cuando se detectó experimentalmente la curvatura de la luz al pasar cerca de un cuerpo masivo, se daba carta de naturaleza a una predicción de la teoría de la relatividad de la que Einstein fue el primer firmemente convencido, lo que le llevo a afirmar: "*una teoría tan bella no podía ser errónea*", cuando le comunicaron el éxito de la observación llevada a cabo por una expedición británica en Brasil y Africa del Sur realizada en 1919, bajo la dirección de Sir Arthur Eddington. La geometría no parece que pueda existir en la escala de Planck. Por otro lado, el principio de incertidumbre afecta sensiblemente al concepto de punto, curva y superficie, lo que arremete contra la geometría a la escala de Planck. Pero lo cierto y verdad es que es imprescindible lograr una reconciliación de las teorías clásicas y la cuántica para poder comprender cabalmente el Big Bang. En ese instante, el Universo era cuántico y gravitacional. No es problema nada fácil, como lo evidencia el hecho de más de un siglo que cumple la incongruencia.

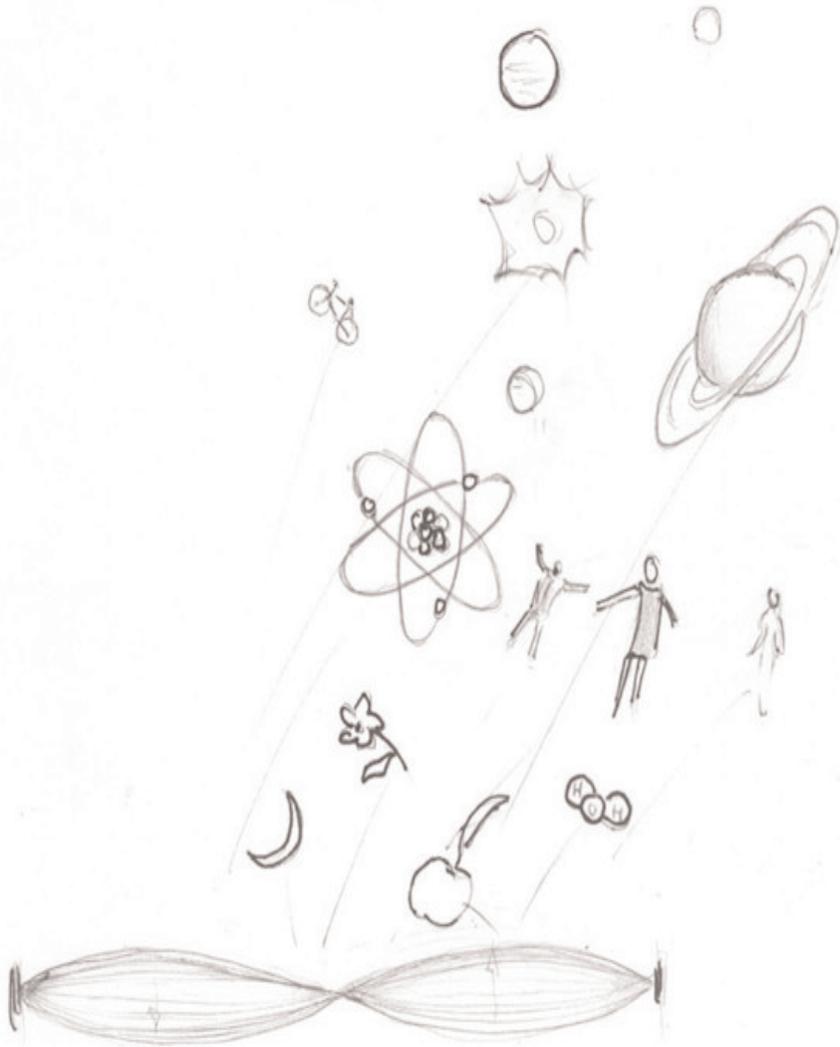
Hay un intento teórico de superar estas dificultades y consiste en explorar la posibilidad de que las unidades elementales sean minúsculas cuerdas, sin espesor, como objetos fundamentales. Sustituyen al punto en Ciencias de la Naturaleza. Las cuerdas serían los objetos fundamentales. Pero las cuerdas vibran y tienen un espectro de notas y armónicos. Si pensamos que energía y masa están unidas por la

famosa expresión de Einstein: $E=mc^2$, cuanto más aguda sea la vibración de la cuerda, mayor será su energía y mayor será su masa, por tanto. En último término, una sola cuerda podrá generar todas las partículas conocidas. Una de las propiedades de las partículas que resultan de las vibraciones de estas cuerdas tendrá las características del gravitón, como partícula cuántica de la gravedad. Del mismo modo, la geometría podría ser el resultado de cuerdas vibrando.

Una sola cuerda puede generar todas las partículas.

Hay tres sistemas en los que se precisa de la teoría cuántica de la gravedad: el Big Bang, los agujeros negros y la colisión de gravitones de elevada energía que puedan justificar el fenómeno de la inflación, acontecido en los primeros instantes de vida del Universo. Ninguno de ellos es verificable en un experimento de laboratorio. Es difícil, por tanto, esperar que se satisfaga el método científico que reclama la recreación del experimento, como evidencia de su comprensión. De momento, la teoría va por delante del experimento. La capacidad deductiva sugiere agudizar el ingenio para proponer formas de contrastar los resultados propuestos. A corto plazo no se vislumbran evidencias experimentales. La Ciencia siempre encuentra salida. Démosle tiempo.

Ninguno de los tres grandes problemas pendientes se puede evidenciar en un laboratorio.



Handwritten signature or initials.

TRAZO 5.16

Por encima del punto de partida

El hombre ha admirado, desde siempre, la velocidad con la que algunos animales se desplazan. La agilidad que evidencian las gacelas en carrera o la gracilidad de las aves en vuelo siempre han provocado la envidia de un ser, el humano, limitado a desplazarse pegado al terreno y verse superado por la inmensa mayoría de los animales grandes. En ausencia de patas adaptadas a la carrera y sin alas para desplazarse por los aires, se sentía el ser humano realmente limitado. La máxima rapidez del ser humano la alcanzaba cuando se asociaba al caballo. Pero, ciertamente, el ser humano no estaba especialmente dotado para la velocidad. Por contra, tenía cerebro. Con él era capaz de superar cualquier reto que cualquier animal le planteara.

El cerebro humano fue el que le llevó al invento de la rueda. Puso así la base del desarrollo de la conquista de la velocidad. Conforme la Ciencia progresaba, el reto iba acercándose a su superación. Una vez que Newton dio con la relación entre la fuerza aplicada y la aceleración que se le imprime a un objeto material, ya disponía de una lógica, una estrategia para avanzar hacia mayores velocidades. Reduciendo la masa, se incrementaba la aceleración que se le imprimía a un cuerpo. Con idéntica fuerza, a menor masa, mayor velocidad a alcanzar. La aceleración era el sueño. Fue Francia el país que se vio subyugado por la velocidad. Allí se organizó el primer concurso entre motores de vapor y motores de combustión, donde se celebró la primera carrera de

El ser humano, sin alas ni patas adaptadas a la carrera, se siente limitado.

Gracias al cerebro, el ser humano puede superar a cualquiera.

La rueda fue el inicio de la conquista de la velocidad.

Francia organizó la primera carrera de coches.

automóviles. Daimler ganó los primeros premios. En 1894 los coches de Daimler tenían solamente seis caballos. Pero en 1895 en la carrera entre Rouen y Paris ya participaron coches de quince caballos. Al poco tiempo los caballos eran veinte. Daimler pensaba que el reto era el aire, conquistar el aire con un motor.

El vuelo de las cigüeñas siempre ha cautivado.

El vuelo de las cigüeñas siempre ha cautivado. Se las veía, como ahora, en las ciudades, construyendo nidos en los campanarios de la Iglesias o grandes postes. Vistas en el suelo, se podía observar como corría unos pasos con las alas extendidas y después comenzaba a moverlas, tanto si lo hacía a favor o en contra del viento. Alguna razón debiera haber para ello. Los hermanos Lilienthal, Otto con 14 años y Gustavo con 13, querían imitar el vuelo de las cigüeñas. Calcularon que el peso de la cigüeña era como el de ellos; las alas debían ser de dos metros de largo por uno de ancho. El material debía ser ligero y resistente al tiempo. En un carpintero próximo encontraron las virtutas que empleaba para las tablas de pino, que parecían material indicado para su propósito. La sala de costura de su madre se convirtió en taller. Acabadas las alas, esperaron a la noche para trasladarlas por el pueblo para probarlas en una colina cercana. No hubo ni brisa ese día y al amanecer regresaron sin éxito. Otto, consiguió flotar un par de metros y planear con las alas. El trabajo escolar se vio afectado y el director del Instituto recomendó a la madre que los sacara de allí y los colocase de aprendiz de panadero o zapatero. Solo dos años después, el mismo Otto hizo el mejor examen que se recordara en la Escuela Industrial de Postdam. Mientras transcurría el tiempo para que comenzaran las clases en la Escuela Industrial de Berlín, los dos hermanos emprendieron la

Los hermanos Lilienthal se afanaron en volar.

fabricación de un "segundo avión". Ahora las alas eran de 3 metros y el material era las plumas remeras de ganso. Ensayaron en la buhardilla con un resultado lamentable. Volvieron a contemplar las cigüeñas en solitario. Una noche volvió Otto con una paloma muerta y un gorrión y los puso sobre una mesa y examinando las alas, concluyó que eran abovedadas. Otto siguió examinando y estudiando durante 25 años. Estudió mecánica en la Academia Industrial, aceptó empleos, tocó sonatas de Chopin y Beethoven, inventó un generador de serpentín, montó una fábrica haciendo socios a los obreros, fundó un teatro popular, etc. Tras esos 25 años escribió un libro titulado *"El vuelo de los pájaros como fundamento del arte de volar"* donde incluía el cálculo de los planos de sustentación, la resistencia del aire y la fuerza ascensional. En 1894 se hizo construir un cerro de tierra de unos 15 metros para ensayar desde la cumbre los nuevos modelos de vuelo. Llegó a desplazarse hasta 250 metros. Pero siempre pensó que hasta que no alcanzara una altura superior al punto de partida, no se trataba de un vuelo. Serían otros los que lo lograrán.

"El vuelo de los pájaros como fundamento del arte de volar".

Toda la vida dedicada al estudio del vuelo, pero tuvieron que ser otros los que lo lograrán.



Preguntas y respuestas

Es usual preguntar por las respuestas, cuando, en realidad, son mucho más importantes las preguntas. Una sola pregunta puede originar varios niveles de respuestas, provocar décadas, a veces siglos de investigación para encontrar solución, incluso puede generar nuevas preguntas y, por último, pueden desencadenar cambios en lo que pensamos. Las respuestas, en ocasiones, ponen punto final o seguido al proceso.

La importancia de las preguntas.

Estamos en un momento de la civilización de marcada avidez de conocimiento. La información disponible crece exponencialmente y lo que es más significativo, se dispone de ella fácil y rápidamente. Google viene a ser el paradigma actual de la información. Es difícil no encontrar respuesta a cualquier pregunta. Otra cosa es la finura con la que se aproxima a la contestación significativa. Según el Instituto de Berkeley, en 2002 se produjeron 5 exabytes de información (5 veces 10^{18} bytes de información, que es equivalente al tráfico anual de Internet, cuyo tamaño total se estima en unos 500 exabytes). Por si acaso no tenemos idea de la dimensión, añadiremos que supone unas 17.000 veces la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos. Es más ilustrativo decir que esa cantidad de información supone que cada individuo del planeta almacena unos 10 metros de libros para leer. Son datos de 2002, pero anualmente se multiplica por un millón.

Actualmente, hay una gran avidez de conocimiento.

¿Qué se puede hacer con una cosa así? Los científicos no se detienen ante estas cuestio-

Los hechos se seleccionan en función de las preguntas que se formulan.

Hoy día, no se puede pensar que en un cerebro puede estar almacenado todo lo que se conoce.

Al aumentar el conocimiento colectivo, no disminuye la ignorancia individual.

nes, porque no les preocupan muchos hechos. No se trata de que los ignoren, sino que no los conciben como un fin en sí mismo. No se detienen ante los hechos, sino que comienzan su trabajo justamente más allá, donde ya no hay hechos. Los hechos se seleccionan en función de las preguntas que se formulan y suelen apuntar justamente a lo que se ignora. Sócrates formuló una lapidaria conclusión que enmarca esta cuestión: "sólo sé que no sé nada" Es en esta tesitura que comienzan a tener importancia los enfoques. Es más fácil situarse en una época pasada para centrar esta cuestión. Cuando en 1687 Newton formuló las leyes que describen la gravedad e inventó el cálculo, erróneamente se piensa que lo sabía todo, que todo lo conocido estaba a su alcance. Incluso es posible que pudiera ser así. Lo que es cierto es que pensar, hoy, que en un cerebro puede estar almacenado todo lo que se conoce, es claramente imposible. Es posible que un estudiante al acabar su Licenciatura o grado, o doctorado, pueda tener más conocimientos que los que tuvo Newton en su época, pero un profesional del siglo XXI conoce una pequeña fracción del conocimiento y la información disponibles. Curiosamente, conforme aumenta nuestro conocimiento colectivo, la ignorancia no parece disminuir. Ocurre que conocemos una pequeña parte del total y nuestra ignorancia individual, como proporción del conocimiento de base, no deja de aumentar. Es descorazonador, en gran medida, ser consciente de que el conocimiento que hoy se tiene es mucho mayor que lo que cualquiera de nosotros nunca jamás sabrá. Y no está a nuestro alcance superar esta posición. ¡Nada podemos hacer!

¿Hay más ignorancia o conocimiento? Si consultamos en Google encontramos para ignorancia 22 millones de referencias, mientras que para conocimiento hay 128 millones. La misma pregunta en inglés responde con 64 millones para ignorance y 1160 millones, para knowledge (como si la ignorancia y el conocimiento tuvieran un idioma preferido). Probablemente, hay contaminación por prejuicios, porque con toda seguridad hay más ignorancia que conocimiento.

Con toda seguridad, hay más ignorancia que conocimiento.

Cada 10-12 años se duplica el número de artículos científicos publicados. Viene ocurriendo así desde la época de Newton. Pero hoy no sólo cuenta la velocidad de crecimiento, sino la cantidad absoluta en que se crece. ¿Qué hay que conocer hoy para comenzar a ser científico? Es un interrogante que atormenta, por cuanto contribuir a añadir algo de conocimiento donde ya hay mucho acumulado, no hace sino limitar el progreso a aquellos lugares que han contribuido anteriormente al mismo, dado que la distancia que separa a los restantes lugares que no están en vanguardia, son demasiado grandes para soslayarlas con una nueva generación de científicos que se incorporan. Al final, hay que concluir en que la clave son las preguntas. Si se es capaz de formular una buena pregunta, se puede acertar en el camino para aportar algo en este vasto mundo del conocimiento. En esto, no todos están capacitados para promover impulso, por más títulos que posean.

Un interrogante que atormenta: ¿qué hay que saber hoy, para comenzar a ser científico?

Lo importante son las preguntas.



Handwritten signature

TRAZO 5.18

Principios

El origen histórico de la Termodinámica se sitúa en los motores y, específicamente, las máquinas térmicas. Motores son las partes sistemáticas que hacen funcionar los sistemas transformando algún otro tipo de energía en energía mecánica, capaz de producir un trabajo. Los motores térmicos obtienen el trabajo a partir de energía interna. Lo hacen mediante combustión interna en la que se produce una combustión del fluido motor, por la que se logra liberar su energía química en energía térmica y a partir de ésta se obtiene la energía mecánica. También lo pueden lograr mediante combustión externa en la que se produce la combustión fuera de él. Por ejemplo, cuando calentamos agua, se forma vapor y es el agua la que produce el trabajo. La máquina de vapor es un ejemplo excelente.

El origen de la Termodinámica se centra en los motores.

La Historia de la Termodinámica se establece en 1650, cuando Otto von Guericke construyó y diseñó la primera bomba de vacío y demostró las propiedades del vacío. Se omite, sistemáticamente que Gerónimo de Ayanz y Beaumont ya inventó una máquina de vapor anterior a 1600, como consta en sus patentes registradas en 1605. Tiene importancia el detalle, porque Gerónimo de Ayanz fue regidor del Ayuntamiento de Murcia y su cuerpo reposa en la Catedral. Además de los citados, cabe señalar al químico Boyle, que junto con Hooke construyó una bomba de aire. Papin en 1679 construyó un digestor de vapor, con el que ya se lograba elevada presión para aumentar el punto de ebullición y así se disminuía el tiem-

Gerónimo de Ayanz, inventó una máquina de vapor anterior a 1600.

A finales del XVIII Lavoisier sorprendió con la teoría del Calórico.

Thomson evidenció la conversión del trabajo mecánico en calor.

Carnot es considerado como el padre de la Termodinámica.

Todo comenzó con las máquinas térmicas.

po de cocinado. En 1697, casi un siglo después de Gerónimo de Ayanz, Savery, construyó un motor térmico. Newcomen lo perfeccionó en 1712. Fue en 1781 en que Black desarrolló los conceptos de capacidad calorífica y calor latente. Watt, concibió la idea de condensador externo, logrando una mayor eficacia de la máquina de vapor. Poco después, en 1783 Lavoisier sorprendió con su teoría del calórico. Según la teoría se explicaba el calor como un fluido hipotético que estaba incorporado en la materia y que era el responsable del calor. Según su mayor o menor cantidad de calórico, los cuerpos eran gas, líquido o sólido. Pasa de un cuerpo a otro, incluyendo los seres vivos, mediante contacto. Se hacía visible en llamas, al desprenderse de los cuerpos. Fue una teoría ampliamente aceptada.

Thomson en 1798 evidenció la conversión del trabajo mecánico en calor. Fue Carnot, considerado como el padre de la Termodinámica, que en 1824 describió la máquina de Carnot y el ciclo de Carnot. Marcan el inicio como Ciencia de la Termodinámica. Rankine escribió en 1859 el primer libro de Termodinámica. Una larga retahíla de nombres se incorporaron a continuación, como Hess, Clausius, Joule, Thomson, Maxwell, Boltzmann, Planck, van der Waals o Gibbs. Todos ellos han contribuido a la formulación de los principios que rigen la Ciencia Termodinámica. Todo empezó con las máquinas térmicas. Son concreciones en las que un proceso cíclico que empieza en un estado de equilibrio, acaba en el mismo estado, tras efectuar un intercambio de calor y trabajo con el entorno. Cualquier motor en el que pensemos, desde una locomotora hasta un coche efectúan el mismo proceso: la energía liberada en forma de calor a partir de una reac-

ción química, es capaz de realizar un trabajo, que es el desplazamiento de un vehículo o la rotación de una plataforma.

Pudo considerarse, en algún momento, la disposición de energía sin límite y la capacidad eficaz de conversión, sin pérdida de calor en trabajo. La Ciencia Termodinámica vino a poner restricciones a estos procesos. Si un ciclo establece un inicio y un final que coinciden, el estado de la máquina no cambia. La fuente de calor dispone de una especie de almacén de donde la máquina extrae la energía. Mientras tanto, el sistema físico aumenta su energía interna a costa del trabajo realizado por la máquina, que se lo cede. De esta consideración del primer principio, al imponer un límite máximo al trabajo que puede producir la máquina emerge el enunciado de que la conservación de la energía interna supone que no se puede superar la energía interna de la fuente de calor. Cuando la fuente queda exhausta, se acabó la capacidad de la máquina para producir trabajo.

La Termodinámica como Ciencia puso límites a la Energía y la capacidad de conversión.

Pero no es ésta la única limitación. Se puede caracterizar el calor mediante la temperatura, T , que se mantiene constante aproximadamente, durante todo el proceso. Parte de la energía absorbida del foco se disipa en forma de calor, de forma que no se puede convertir o aprovechar el 100%. Los rendimientos de las máquinas son muy inferiores a los valores teóricos. Es una segunda limitación insoslayable, que concreta el segundo Principio. De modo que no podemos generar más energía que la que tenemos, lo que imposibilita el móvil perpetuo de primera especie, ni podemos aprovechar toda la energía contenida en un foco, con lo que tampoco es posible un móvil perpetuo de

No se puede aprovechar el 100% de la energía del foco.

Imposibilidad de los móviles perpetuos de primera y segunda especie.

Los principios son leyes sin demostración explícita.

Lo Termodinámica se estructura a partir de la temperatura, la energía interna y la entropía y el aspecto fenomenológico de calor.

segunda especie. Todavía más, dado que la eficiencia teórica máxima solamente depende de la temperatura de la fuente y la del refrigerante, resulta por tanto, independiente del tipo de máquina y del funcionamiento de la misma. Pero esto, también implica que el cociente de ambas temperaturas (rendimiento) no va a depender del sistema de medida que se emplee (termómetro) ni la propiedad que se utilice para marcar la temperatura.

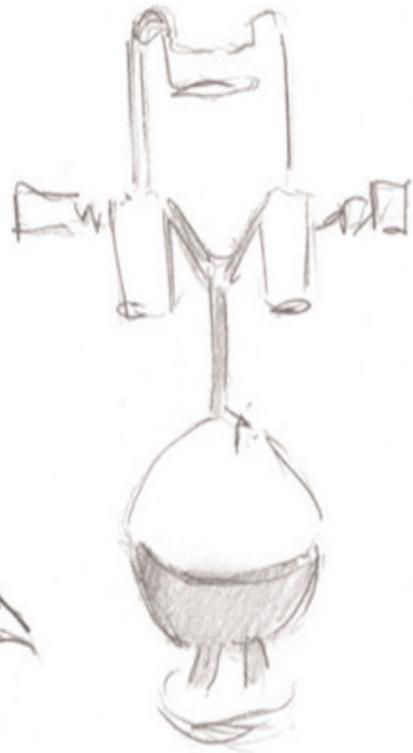
Los principios son leyes de la Naturaleza que no se pueden demostrar explícitamente, pero cuyos resultados los cuantificamos observando el comportamiento y los resultados que emergen de éste. Cuando se trata del ámbito de la Lógica los principios o axiomas se consideran que son tan evidentes que no requieren demostración y junto con las reglas de inferencia constituyen los fundamentos de aquella. En Lógica y en Matemáticas se utilizan los sistemas axiomáticos para, mediante deducciones, demostrar teoremas. La Termodinámica se estructura a partir de conceptos como temperatura, energía interna y entropía, que se concretan para caracterizar los estados de equilibrio y poder estudiar los procesos que conducen de un estado a otro. A este esquema, añade el aspecto fenomenológico del calor. Históricamente el concepto de entropía se incorporó a partir de los conceptos genitores: calor y temperatura. De esta forma se dispone de una estructura que permite extender el principio de conservación de la energía y, algo de sumo interés, al poder caracterizar los estados de equilibrio (permanencia) como mínimos de la energía interna. Del mismo modo, los máximos de energía se hacen corresponder con la cuantificación de la medida en que la energía interna acumulada es trabajo útil.

Pero todo ello se puede estructurar de forma lógica de manera que la entropía sea la que juega un papel básico y, a partir de ella, se puedan deducir aspectos como calor y temperatura como secundarios. En Mecánica ocurre algo de esto cuando la energía, concepto más abstracto y fundamental, suplanta a la fuerza, mucho más intuitiva. Finalmente, la energía interna podemos concebirla como un concepto mecánico, con lo que si el calor se identifica con cambio de energía y la entropía se puede identificar con cambios de calor, supone que ésta última se pueda identificar con aspectos mecánicos. De este planteamiento se desprende que la entropía se conecte con el detalle microscópico que se pierde en el ámbito macroscópico al pasar de descripciones atómico-moleculares a observaciones fenomenológicas. El trabajo de Boltzmann al formular las bases de la Mecánica Estadística conectaron ambos mundos, iniciando esa corriente científica que busca la descripción de la totalidad, desde el convencimiento y la observación que estudiamos parcialmente los sistemas por comodidad de tratamiento y porque las aproximaciones no permiten identificar fácilmente los efectos de un Universo que actúa como un todo. La unificación no es un capricho científico más, sino el horizonte que dirige las pesquisas que, parcial, pero de forma permanente, nos van acercando a responder los interrogantes fundamentales.

La entropía juega un papel básico.

La entropía se conecta con el detalle microscópico.

Boltzmann y la Mecánica Estadística conectan los mundos microscópico y macroscópico.



17/9/07

Profundizando en la intimidad de las partículas

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 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.

El atrapamiento láser ha supuesto un cambio revolucionario en muchos campos.

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

El atrapamiento óptico tiene una larga historia.

con la fuente láser, las cosas son de otra 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 tienen una amplia repercusión.

El atrapamiento permite reducir la temperatura 9 órdenes de magnitud.

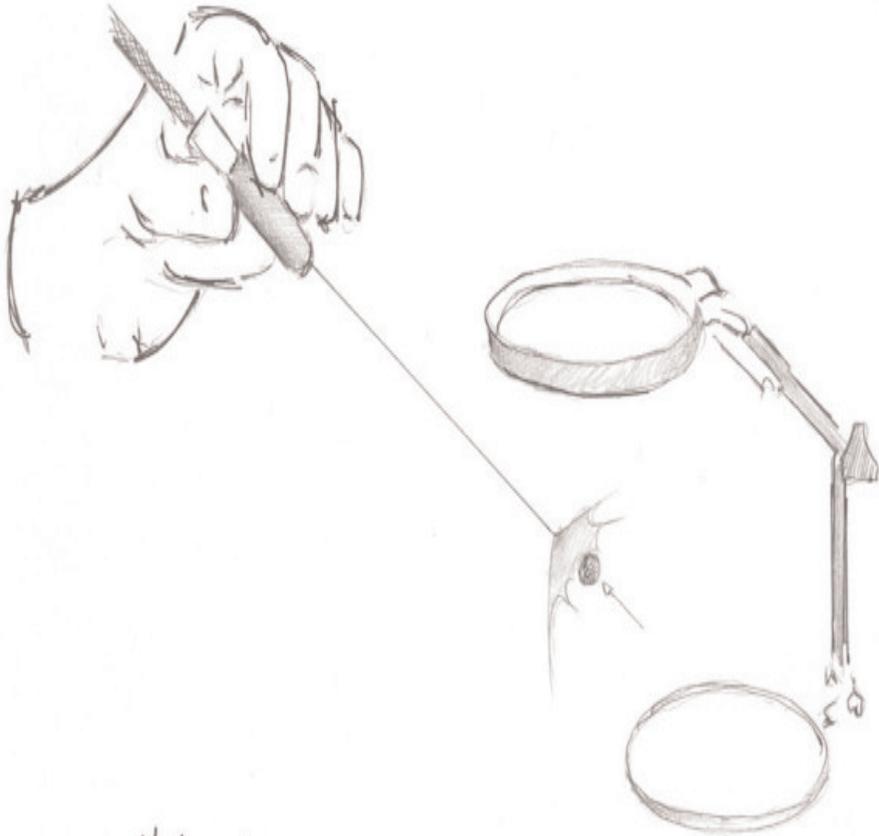
El atrapamiento se ha observado en partículas cuyo tamaño se encuentra comprendido entre unos cuantos Angstrom y 100 micras, es decir abarca hasta seis órdenes de magnitud. En términos de temperatura o energía, los átomos se enfrían hasta bajar desde unos 1000 K hasta un microkelvin, es decir, unos 9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

La teoría maneja conceptos muy simples.

La teoría solamente maneja conceptos muy simples, como son la conservación del momento, rayos ópticos y las ecuaciones de velocidad semiclásicas. Con ello se puede describir y comprender tanto las fuerzas que intervienen, como el atrapamiento óptico. Ciertamente, con estos pocos conceptos y algo de suerte, se descubrieron las trampas 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 ν 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 $2 P/c$ es el momento que adquiere el espejo. Si supone-

mos 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 de un solo vatio de potencia, pero concentrada en una diana pequeña, de 1 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 hemos considerado, que suponían 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 $10^{(6)} \text{ g}$, lo cual es enorme y tendrá efectos observables. Es decir, con miliwatios de potencia, ya se dan efectos perceptibles, como para detener el movimiento de una partícula aislada y poder estudiarla de forma singular. La fisicoquímica de fotones y partículas únicos, solos, aislados, revela propiedades muy íntimas de la materia. Un camino prometedor para explicaciones en profundidad.

Se puede detener con un láser una partícula aislada para estudiarla.



M. Requena

Queriendo contar

Sabemos contar. Uno, dos ...miles,... millones. Los orígenes de los números se hunden en lo más recóndito de la Humanidad. Pudieron ser objeto de atención de la mitología. Necesariamente, se debieron gestar en los primeros balbuceos humanos. El primer sistema de numeración debió tener solo tres términos: uno, dos y muchos. Un vestigio de esto ha quedado patente en nuestro lenguaje, porque la raíz indoeuropea del término tres (trei-), sugiere que se identificaba con mucho. En la lengua francesa se retiene este hecho, por cuanto el término três se identifica con muy (mucho) en la actualidad. La raíz ter- lo testifica también. Nuestro refranero lo recoge: dos es compañía, tres es multitud. La repetición de uno y dos, permite contar hasta cuatro o hasta seis: uno, dos, dos-uno, dos-dos, dos-dos-uno, dos-dos-dos... Haddon en 1889, estudió el sistema de conteo de un pueblo indígena, corroborando el modelo señalado. Los números superiores a seis los nombraban como "ras". Uno y otro sistema de abstraer los números enteros pequeños, suele ir acompañado de una gramática compleja, ya que supone manejar entidades dicotómicas: singular-plural o incluso introducir tricotomías, del tipo "singular-dual-plural". Esto explica por qué en muchas lenguas arcaicas, los únicos números reconocidos eran uno y dos.

Los orígenes de los números se hunden en lo más recóndito de la Humanidad.

Parece natural suponer que cualquier sociedad que manejara esta forma de contar, requeriría, con toda seguridad, contar más allá de cuatro o seis. ¿Cómo hacerlo si no se pueden

El hecho de querer contar conlleva implícito comparar y descontar.

Las grandes civilizaciones de la antigüedad desarrollaron la geometría y la aritmética.

nombrar los siguientes números? Ciertamente, lo más sorprendente es que fue posible. El método se basa en nuestra capacidad de aparear objetos. Podemos aparear de dos en dos los objetos de dos colecciones distintas. Naturalmente, el hecho de querer contar, conlleva implícito el querer, igualmente, comparar y descontar. Para ello precisamos comparar un grupo de objetos con otro, que estableceremos como referencia. Aquí es donde hacen su aparición las tecnologías de contaje que emplean los dedos u otras partes del cuerpo: piedras o las muescas sobre un objeto de madera (un palo) o sobre un hueso, por ejemplo.

Las grandes civilizaciones de la antigüedad desarrollaron la aritmética y la geometría notablemente. Los sistemas de numeración fueron una de las creaciones de mayor trascendencia. Hace unos 7.000 años que los egipcios crearon los primeros signos numéricos, con un método que agrupaba los objetos de diez en diez y a cada grupo de diez le asignaban un símbolo diferente. En Babilonia en torno a 1.700 a.C. se generó un sistema de numeración sexagesimal, del que hoy quedan vestigios en la división del tiempo y de los grados angulares, aunque coexisten con el sistema centesimal, en el segundo caso. En Grecia se emplearon las letras del alfabeto como signos numerales y también era un sistema de numeración decimal. Los Mayas, en América, emplearon un sistema de numeración vigesimal y usaron por primera vez en la Historia el cero. Finalmente, en la India se desarrolló un grafía para los números, de la que deriva la actual, transmitido a Occidente a través de los comerciantes árabes.

El emparejamiento fue el responsable de la introducción del concepto abstracto de número, ya que se ponen en correspondencia cosas con la referencia: cinco días de marcha se contabilizó con los dedos de una mano, por ejemplo. Se derivó cinco de la palabra mano y mano puede convertirse en la referencia para contar objetos. Esto implica que nuestros ancestros han podido usar palabras diferentes para nombrar cosas distintas, algo similar a lo que hacemos nosotros cuando decimos un par o una pareja, para referirnos a dos. Ciertamente, los números nos permiten contar (uno, dos tres,...), pero también ordenar (primero, segundo, tercero,...) y estos dos aspectos, cardinales y ordinales, se han empleado desde hace mucho tiempo. Ahora bien, cualquiera que sea el orden en el que se cuente un conjunto de objetos, el resultado es el mismo. Esto parece evidente, aunque lo parece menos cuando se trata de demostrarlo. Se aprecia tal cosa, cuando se trata de numerar conjuntos infinitos. Lo dejamos para otro momento.

Los conceptos cardinales y ordinales se han empleado desde hace mucho tiempo.



TRAZADO 6

UN PROCESO LLAMADO MUNDO

- 6. Introducción. -115-
- 6.1. Química para su alteza. -119-
- 6.2. Rapidez nerviosa. -121-
- 6.3. Redes neuronales cuánticas. -127 -
- 6.4. Remolinos. -139-
- 6.5. Señales de vida. -143-
- 6.6. Simetría y simpatía en el Cosmos. -149-
- 6.7. Sin trabajo todas las ideas son abortos. -153-
- 6.8. Solo seis, pero ¡vaya seis!. -161-
- 6.9. Supremacía Cuántica. -167-
- 6.10. Susurros del Cosmos. -173-
- 6.11. Telégrafo electroquímico. -181-
- 6.12. Tiempo atmosférico calculado. -185-
- 6.13. Tierra hueca. -189-
- 6.14. Un proceso llamado mundo. -193-
- 6.15. Universo holográfico. -197-
- 6.16. Verdad, certeza y Gödel. -201-
- 6.17. Viajar a través del tiempo. -207-
- 6.18. Vita Aequae. -211-
- 6.19. Y... sólo son veinte. -217-
- 6.20. Zenón cuántico. -223-

TRAZADO 6

Un proceso llamado mundo

De siempre, las preguntas fundamentales tienen que ver con: ¿de donde venimos? ¿hacia donde vamos? ¿como ocurren las cosas?, etc. Si lo pensamos bien, todos los interrogantes tienen que ver con estas preguntas.

Se han formulado muchas alternativas intentando dar explicación o justificación a la cadena de sucesos advertidos. Seguramente, no deben haber satisfecho demasiado las respuestas elaboradas, puesto que seguimos insistiendo en encontrar nuevas explicaciones. Desde que conocemos, se han ido formulando escenarios que intentan justificar y explicar lo que debió ocurrir, cuando comenzó, de la “mano de quién” tuvo lugar la génesis y como se estructuró para llegar hasta el presente correspondiente.

De siempre se ha intentado justificar los orígenes.

La observación genera interrogantes.

Los nuevos enfoques teóricos cambian nuestra percepción del mundo.

Los interrogantes fundamentales siguen en pie.

El mundo es un proceso en construcción.

Si algo ha habido en común en todas las épocas y latente en todas las conjeturas es que, es de la observación de donde surgen los interrogantes. De la observación del efecto del movimiento sobre la temperatura, surgió la relación que debía haber entre trabajo y calor.

Mayer estudioso de la conversión del trabajo en calor concluía que “*de la nada nada surge*” y que “*nada de lo que existe se convierte en nada*”. Pero con el advenimiento de la Cuántica, la nada ha dejado de tener el significado de ausencia. Han cambiado los conceptos cuando la reflexión humana ha tenido mayor alcance. Cosas que no comprendíamos a finales del XIX, pasaron a tener explicación cabal. Pero los interrogantes fundamentales, siguen en pie. No disponemos de suficiente infraestructura todavía.

El mundo no tiene síntomas de estar acabado, sino en construcción. En lo que se refiere a la componente personal, desde luego. Pero en la cosmológica, también. Quizás, considerarlo finalizado es un espejismo. Todo parece indicar que es un proceso al que nos asomamos y en virtud de la infraestructura intelectual que dispongamos, así interpretamos. No obstante nos deja, inamovibles, suficientes indicios para que vayamos descifrando el maravilloso escenario en el que vivimos y que debemos disfrutar y legar a nuestros descendientes en las mejores condiciones.

Química para su alteza

Hofmann fue un químico alemán, nacido en Giessen (Hesse), discípulo de Liebig, que en 1845 fue nombrado primer director del Royal College of Chemistry, permaneciendo durante dos años en excedencia de su puesto de profesor extraordinario en Bonn, donde volvió en 1864 y al año siguiente fue elegido como profesor de Química y director del laboratorio en la Universidad de Berlín. Sus primeros trabajos los desarrolló sobre el alquitrán de hulla y permitieron establecer la naturaleza de la anilina. Fue su primer amor, al que no abandonó el resto de su vida. Observó una proximidad entre ella y el amoniaco, en la que basó un trabajo sobre las aminas y las bases amónicas y los compuestos de fósforo. Preparó la rosanilina con la que inició los estudios sobre los colorantes, que le hicieron famoso.

Hofmann trabajó sobre el alquitrán de hulla.

En cierta ocasión se presentó de improviso en su laboratorio la princesita Victoria. Curiosa en extremo, le formuló muchas preguntas sobre lo que hacía, acabando por el interrogante básico: ¿qué es la Química? Su alteza no aceptó de buen grado una contestación, quizás apropiada para niños, pero que no iba al fondo de la cuestión. Hofmann se tuvo que emplear a fondo y responder con seriedad que la Química se ocupa de los fenómenos de la Naturaleza que transforman la estructura de los cuerpos. En oposición a ella, también le aclaró, se encuentra la Física, que se ocupa de los fenómenos que no suponen ningún cambio en la estructura de los cuerpos. No eran conceptos fáciles de asimilar y Hofmann apeló a ejemplos concretos que hicieran visible el

La princesita Victoria le visitó en su laboratorio y le preguntó: ¿qué es la Química?

La Física estudia transformaciones en las que la estructura no cambia.

La Química desentraña procesos en los que hay cambio de estructura.

fondo de la cuestión. Tomó un pedazo de hierro y se lo mostró. Si lo caliente, comenzará a enrojecer. Se llegará a ablandar tanto, que se le puede moldear y darle cualquier forma. Pero cuando se le quite el fuego, se enfriará, su incandescencia se apagará y la masa tornará a ser, de nuevo, oscura y recuperará su dureza. El hierro, tras pasar por aparentar otra forma y distintas propiedades, vuelve a ser hierro de nuevo, como antes de calentarlo. Los cambios que han tenido lugar, solamente son transitorios. El calor le ha hecho pasar de sólido a "casi líquido" y después ha ocurrido lo contrario, al privarle del calor. Estos son los fenómenos de los que se ocupa la Física. Ahora, la princesita comprendió en toda su extensión. Todavía quedaba por mostrar algo concreto de la Química. Para ello, Hofmann introdujo un trozo de hierro en ácido sulfúrico y dejó que actuara durante un tiempo suficiente como para que acabara desapareciendo el hierro. Ahora, la cápsula en la que había depositado el hierro, solamente tenía un líquido de color azul oscuro. Si lo evaporaba, obtenía un cristal transparente de color verde azulado, como así ocurrió. El cristal se lo entregó a la princesita que, inevitablemente lo comparó con un trozo de hierro oscuro, igual al que se había transformado en un brillante y magnífico cristal. Había tenido lugar un cambio de estructura. A partir de dos sustancias había aparecido una nueva materia. El ácido había formado con el hierro una sal, denominada sulfato de hierro. Es de estos procesos de los que se ocupa la Química. Pudo parecer un milagro. En realidad, la Naturaleza está rebosante de milagros de este tipo. La Química pretende desentrañarlos.

Pero no se conforma la Química con conocer los cambios de estructura presentes de forma permanente en la Naturaleza. Las posibilidades de cambio son tan extraordinariamente numerosas que no agotan la imaginación. No todas las estructuras posibles de la materia se encuentran al alcance en la Naturaleza. Una vez conocidas las reglas de actuación, los principios motores y las vías eficaces, es posible abordar caminos propios que, no necesariamente ha explorado la propia Naturaleza.

Los cambios posibles no agotan la imaginación.

A diferencia de las demás Ciencias, la Química permite diseñar estructuras. De esta forma se generan los nuevos materiales. No todas las combinaciones de parámetros de temperatura, presión o disponibilidad de componentes se han dado a lo largo de la Historia de nuestro mundo. El ingenio ha permitido crear algo completamente nuevo, materiales con propiedades increíbles. La espuma de Titanio se logró mezclando espuma de poliuretano con polvo de titanio, obteniendo un material muy resistente y ligero. Podría ser idóneo para regenerar huesos. La Upsalita (por Uppsala, Universidad Sueca, donde se creó) es la substancia con mayor poder absorbente conocida. Cada gramo tiene una superficie de unos 800 metros cuadrados. Absorber residuos tóxicos en el mar o la conservación de dispositivos electrónicos, pueden ser campos de aplicación. Y así, varios miles de nuevos materiales. Comenzamos a vivir en una sobrenaturaleza. Colaborar con la Naturaleza es sensato.

La Química permite diseñar estructuras que no existen de forma natural.



TRAZO 6.2

Rapidez nerviosa

Desde el tiempo de Galeno (129 d.C.) se venía estudiando la cuestión de cómo trabajan los nervios. Nombres como Descartes y Borelli sugirieron que el espíritu animal era un fluido real que se comportaba como otros fluidos. Siguiéron otros físicos que estudiaron la cuestión con detalle. Galvani, basándose en los estudios de la recientemente creada nueva disciplina, la Química y las propuestas de Volta, sugirió la importancia de la estructura de los nervios con una envoltura aislante y un conductor en su interior, que conciliaba los experimentos efectuados hasta ese momento. Helmholtz en 1850 midió la velocidad a la que se transmitía el estímulo por el nervio ciático de una rana, hasta contraer el músculo del muslo, concluyendo que, aproximadamente, la velocidad de propagación era de unos 30 metros por segundo. No llegaba a un tercio de la velocidad del sonido, cuando, anteriormente, se había propuesto que llevaba la velocidad de la luz.

Posteriormente, se abordó la medida de la velocidad a la que se propagaba la diferencia de potencial de membrana de un nervio excitado, también en el nervio ciático de una rana. Du Bois-Reymond lo intentó, pero fracasó. Su discípulo Bernstein, lo heredó como trabajo de investigación y en 1868, 18 años después de Helmholtz y, justamente, en su laboratorio de Heidelberg lo logró. Medir la propagación del potencial de acción fue más complicado que medir la velocidad de la señal que causaba la contracción del músculo. La única forma de

La velocidad de transmisión por los nervios no llegaba a ser un tercio de la velocidad de la luz.

La velocidad de transmisión del potencial de acción que causaba la contracción del músculo fue más complicado.

Había que medir el potencial de membrana.

Un ingenioso procedimiento permitió determinar la velocidad de propagación de la acción potencial.

medir cuando el potencial de acción llega a un punto del nervio suponía controlar el potencial de membrana en ese punto. La única forma de medir el potencial de membrana era usar un galvanómetro, que era muy lento de respuesta. Lo que ideó Bernstein fue realmente elegante. Sorprendentemente simple, en teoría, pero requiriendo una imaginación notable para llevarlo a la práctica. Para conocer la diferencia de potencial en la membrana del nervio en un punto determinado de éste y en un instante (breve momento) concreto, la única forma de lograrlo con un galvanómetro lento, era efectuar un montaje, de forma que el cable que conecta el nervio con el galvanómetro sólo lo haga durante un breve tiempo. Pero debido a la lentitud del galvanómetro para tener suficiente sensibilidad a la respuesta, ésta dependerá del potencial eléctrico durante ese momento. Si se quiere saber cómo cambia el potencial en un punto concreto del nervio, como consecuencia de una estimulación de aquél en un punto distante (detectar la llegada del potencial de acción) se necesita analizar una sucesión de breves momentos elegidos para que empiecen a intervalos diferentes de la estimulación. Una vez establecido el patrón de cambio, se puede repetir el procedimiento estimulando el nervio en un punto más cercano al punto en el que registramos la respuesta. Encontraríamos que la respuesta es la misma, pero con un retardo más reducido y comparando la reducción del retardo con la reducción de la distancia entre el punto de estimulación y el de medida, se puede calcular la velocidad a la que el potencial de acción se ha propagado a través del nervio. Si la acción potencial se mueve a la misma velocidad que la señal que contrae el músculo, debería ser la velocidad de unos 30 metros por segundo.

Se llevó a cabo el experimento del siguiente modo: Se requería un sistema de estimulación que aplicara una descarga eléctrica para estimular el nervio; un sistema de registro de la diferencia de potencial, entre cualquiera de los puntos escogidos sobre la superficie del nervio y el corte final y un sistema de medida del tiempo para controlar los momentos de la descarga estimulante y el comienzo y duración del periodo durante el que el galvanómetro está conectado. El primero se solventó con una bobina de inducción, una batería y un interruptor. El segundo, también parece sencillo y se puede pensar que se trata de un galvanómetro y dos hilos para conectarlo, pero hubo problemas. Como el galvanómetro tiene una resistencia eléctrica extremadamente baja, al conectarlo entre la superficie de la fibra de un nervio y el final del corte, tenía el efecto de producir un cortocircuito en la membrana del nervio. El efecto era que reducía mucho el potencial de membrana en las vecindades del punto de contacto entre el hilo y la superficie de la fibra del nervio y esto reducía la excitación del nervio. Bernstein introdujo en el circuito del galvanómetro una batería y un juego de resistencias dispuestas de forma que proporcionaba un voltaje que se equilibraba con el generado por la restante membrana del nervio. De esta forma, cuando el nervio estaba en reposo, no fluía corriente a través del galvanómetro y después de que era estimulado, la llegada del potencial de acción perturbaba el balance y el galvanómetro entonces respondía. El mayor problema que tuvo que solventar Bernstein fue el control del tiempo. Precisaba un coordinador que controlara tres operadores: uno que operara el interruptor del circuito para producir la descarga de estimulación; otro conectaría el galvanó-

El control del tiempo fue un reto.

Los cambios posibles no agotan la imaginación.

Un ingenioso procedimiento permitió obtener el tiempo medio del potencial de membrana.

metro al circuito de registro en un momento variable, pero conocido, tras la estimulación; el tercero desconectaría el galvanómetro al final de un periodo de control determinado. Lo consiguió sustituyendo el coordinador por una "caja de música" (un volante de latón horizontal que giraba a una velocidad controlada precisamente por un motor eléctrico). En diferentes puntos cerca del borde del volante, se situaron agujas dirigidas hacia abajo, operadas por interruptores, situados por debajo del volante. Ajustando las posiciones relativas de los interruptores se controló precisa y fácilmente el retardo entre la descarga de la estimulación y el comienzo del periodo en el que el galvanómetro controlaba los eventos y, por tanto, la duración del periodo.

Para adecuar la resolución del tiempo, redujo el periodo de control a un tercio de milisegundo, pero al ser tan corto el tiempo, implicaba que el flujo de la corriente durante un simple periodo, tenía muy poca incidencia en la aguja del galvanómetro. Esta dificultad la soslayó haciendo que el volante girara continuamente de forma que el nervio se estimulaba repetidamente y el resultado de los potenciales de acción fue controlado durante un tercio de milisegundo en el mismo punto del nervio y durante el mismo intervalo después del estímulo. Al responder el galvanómetro tan lentamente, los efectos de las muestras individuales se acumularon y (para una velocidad fija de rotación) la posición final de la aguja del galvanómetro reflejó la magnitud promedio del potencial de membrana, durante los sucesivos periodos controlados por el galvanómetro.

Midiendo el potencial en puntos fijos sobre la superficie del nervio y variando el retardo entre la estimulación y el comienzo del periodo de

control, Bernstein fue capaz de calcular la forma en la que el potencial eléctrico que cruza la membrana varía con el tiempo como el potencial de acción pasa a través del punto. Con esta técnica elegante e ingeniosa, comparó los tiempos entre el estímulo y el comienzo del potencial activo, cuando el nervio se estimulaba a dos distancias diferentes del punto de registro. A partir de la diferencia de los retardos, calculó la velocidad a la que el potencial de acción viajaba por el nervio. Encontró el valor de 28.7 metros por segundo, en excelente acuerdo con la estimación de Helmholtz que fue de unos 30 metros por segundo para la velocidad de la señal que causaba la contracción del músculo. Elegante y bellísimo forma de hacer Ciencia, aplicando el ingenio al diseño de las experiencias. ¡Cuánto hay que aprender de los maestros!

Bernstein fue capaz de calcular la forma del potencial eléctrico que cruza la membrana.

El potencial viajaba a 28.7 ms^{-1} .



Redes neuronales cuánticas

Comprender los efectos cuánticos para incorporarlos a las herramientas usuales puede suponer un cambio cualitativo. La computación está llegando al límite imaginable de velocidad asociada a la miniaturización. Los procesadores y el entramado de comunicación entre los diversos dispositivos que constituyen un ordenador están al borde del límite alcanzable con la miniaturización. Los algoritmos hace tiempo que han agotado el ingenio simplificador del coste temporal y de recursos y van demandando nuevas estructuras y arquitecturas capaces de abordar problemas en los que la velocidad de cálculo resulta central.

Estamos llegando al límite de la miniaturización.

Las redes neuronales son unos sistemas artificiales, supuestamente inspirados en la estructura neuronal del cerebro. Han llegado a ser herramientas esenciales para resolver tareas en las que fallan las herramientas más tradicionales basadas en algoritmos o reglas. Ejemplos que han logrado el éxito son: el reconocimiento de la voz, la inteligencia artificial en una de sus versiones y el análisis de lo que ha dado en denominarse macrodatos (o el barbarismo abrazado, big data). Pero todas las redes neuronales que se han empleado en estas áreas se basan en las leyes de la Física Clásica. Hay una creencia, fundada, de que la computación cuántica puede incidir en este mundo en que la velocidad no es capricho, sino necesidad, que la imponen muchos problemas todavía sin resolver. Los trabajos de Shor y Grover son alardes de ingenio que ponen a las claras como se pueden concebir algoritmos cuánticos que superan a los equi-

La computación cuántica puede aportar de forma significativa.

La arquitectura cuántica está recibiendo mucha atención, para concretar estados enlazados.

valentes clásicos. En todo caso, la concepción de arquitecturas cuánticas está ocupando la mayor parte de la investigación que tiene que superar la dificultad que representa la decoherencia, que es la bestia negra del manejo de los estados entrelazados en los que se basan los algoritmos cuánticos. Emplear estados cuánticos entrelazados y que estén suficientemente aislados, como para que se pueda mantener el entrelazamiento, es un reto de la ingeniería, más que de la Ciencia. Poco a poco se van materializando máquinas de unos pocos qubits que hacen albergar la esperanza de lograr hacer realidad la computación cuántica.

El algoritmo de Shor para la factorización de números enteros fue el disparo de salida, para los programas de computación cuántica.

El algoritmo de Shor abordó la factorización de números enteros haciendo uso del entrelazamiento cuántico, con lo que, el requerimiento exponencial de cálculo, se convirtió en polinómico. Se ha implementado en pequeños ordenadores cuánticos de 11 qubits, basado en iones atrapados como sustentación física de los estados entrelazados. Hay otras muchas posibilidades de lograrlo. Las denominadas máquinas D-wave, proyecto de computador cuántico de Google y la NASA, trabaja a temperaturas de milikelvin, para que los materiales se comporten como superconductores. Utiliza los qubits, basados en el entrelazamiento cuántico y las especiales características de los espines a nivel atómico. La versión más reciente en desarrollo alcanza más de 1000 qubits. El procesador que usa es de semiconductores y la baja temperatura, hasta 15 milikelvin, minimiza las interferencias entre estados. Una de las versiones, la denominada D-wave 2x procesa unas 600 veces más rápido que los ordenadores convencionales. La potencia de este tipo de ordenadores crece

Las máquinas D-wave.

exponencialmente con el número de partículas que se agrega al entrelazamiento. El momento actual es ese, tan crítico, en el que permanecen sin resolver todavía, problemas que oscurecen el logro. No hay suficientes algoritmos matemáticos para las máquinas cuánticas, ya que los algoritmos convencionales no son de aplicación. La programación de los computadores cuánticos hay que reformularla. Estamos casi en pañales en esta parcela.

No hay suficientes algoritmos para los ordenadores cuánticos.

A finales del año pasado, IBM presentó un ordenador cuántico de 50 qubits. Muy poco antes, Lukin, un físico de Harvard, había presentado un computador cuántico de 51 qubits. El tiempo de coherencia del ordenador de IBM se estableció en 90 segundos, lo que quiere decir que dispone de ese tiempo para efectuar cálculos u operaciones complejas, antes de que la decoherencia imposibilite calcular. IBM anunció que ponía en la nube, a disposición de sus clientes, un ordenador cuántico de 20 qubits a finales de 2017. Comienza a dispararse la carrera, donde el uso a nivel de experiencia ya es posible. Cirac, miembro de la Academia de Ciencias de la Región de Murcia y acreditado físico del Instituto Max Planck en esta área, opina que es necesario mejorar el aislamiento de los ordenadores cuánticos, de forma que se logre eliminar las interacciones que inciden en el entrelazamiento, que es la pieza clave de la herramienta.

El ordenador de IBM tenía un tiempo de coherencia de 90 s.

Estas máquinas ya han evidenciado que son capaces, suficientemente veloces, para abordar los denominados problemas duros NP, que son aquellos problemas de decisión que, en el marco de la teoría de la complejidad computacional, suponen que un problema H

Un ordenador cuántico puede abordar un problema NP.

tiene un problema L que puede ser transformado polinomialmente en H , es decir, que podemos encontrar un algoritmo A , que trabajen en tiempo polinómico ejecutando primero la reducción del problema H y luego extendiendo la aplicación del algoritmo A . Pese a que el control preciso de muchos qubits no es trivial y el problema de la escalabilidad sigue presente y la velocidad alcanzable, todavía está sometida a debate, representan una esperanza de lograr computadores capaces de procesar grandes cantidades de información.

Una de las aplicaciones de mayor interés son las redes neuronales.

Una de las aplicaciones de mayor interés son las redes neuronales. Hay muy pocos ejemplos de análisis de la incidencia de la computación cuántica sobre la capacidad de aprendizaje de modelos de "preceptron" cuánticos. De hecho, hay auténticos problemas de tipo conceptual a superar: la dinámica de los sistemas cuánticos cerrados está gobernada por ecuaciones de evolución temporal deterministas, mientras que las redes neuronales están descritas por ecuaciones dinámicas disipativas, lo que impide la generalización directa del cálculo con redes neuronales en sistemas cuánticos. Una propuesta ha consistido en formular un marco para las redes neuronales cuánticas, basadas en sistemas cuánticos abiertos. El caso más simple es incluir la dinámica markoviana en la que la evolución de la matriz densidad se describe mediante la ecuación de Lindblad, como proponen Rotondo y col.

Originalmente las redes neuronales de Hopfield, derivan del tratamiento de Ising de los espines atómicos, para explicar el magnetismo de los materiales. La Naturaleza tiende

a minimizar la energía potencial. Ising se planteó el interrogante de cómo se comporta la energía de interacción entre átomos. Si cambia el espín total de un átomo, ¿cómo afecta a los vecinos? Formuló el modelo más simple posible: el espín de un átomo afecta al vecino más próximo. Ahora bien, la interacción la estableció en términos de unas reglas, enteramente cuánticas, ya que si coinciden los espines de dos átomos contiguos, la energía de interacción es menor (como correspondería a un estado triplete), mientras que si discrepan (están apareados) la energía de interacción es mayor (como correspondería a un estado singlete). La representación matemática de este simple modelo es el producto de los espines atómicos. Finalmente, Ising introdujo una expresión explícita para la energía de interacción, consistente en $E = -J \sum_i S_i S_{i+1}$, siendo S_i el espín del átomo i y S_{i+1} el espín del átomo más cercano. Si todos los espines concuerdan, la energía de interacción, E , será elevada. J especifica la energía de interacción. Cuanto mayor sea J , mayor energía de interacción entre espines. Por ejemplo, si $J = 0.1$ y $\sum_i S_i S_{i+1} = 400$, la energía de interacción será 40. En todo caso si hay concordancia de espines (tienen el mismo signo), $\sum_i S_i S_{i+1} > 0$, $E = -J \sum_i S_i S_{i+1} < 0$, y la energía de interacción hace disminuir la energía total, mientras que si $\sum_i S_i S_{i+1} < 0$, es decir hay discordancia de espines, entonces $E = -J \sum_i S_i S_{i+1} > 0$ y hay un crecimiento debido a la energía de interacción. Ahora bien, debido a la discrepancia de los espines, los campos magnéticos decrecen por la concordancia de espines de los átomos que quedan anuladas y el metal no tiene un comporta-

Las redes neuronales de Hopfield proceden del modelo de Ising para explicar el magnetismo.

La representación matemática del modelo de Ising es el producto de espines.

El ferromagnetismo tiene explicación a nivel de los espines.

miento magnético. En cambio, si hay muchos espines concordantes el efecto acumulativo de los campos magnéticos se suma, como consecuencia la energía disminuye, como corresponde a los espines alineados y la materia tendrá campo magnético, es decir se comporta como un imán y la energía potencial se ha minimizado. Cuando los átomos de hierro se alinean, el material se magnetiza y adquiere propiedades que rotulan al material como ferromagnético. La clave del modelo de Ising viene a dictar desde la Cuántica si el material se convierte en un imán o no.

Hopfield introdujo el concepto de interacciones comunicativas entre neuronas.

Este modelo de Ising del ferromagnetismo es el que conduce al modelo neurológico de Hopfield. Partió de un circuito clásico neuronal y reinterpretó el modelo de Ising pero introduciendo el concepto de interacciones comunicativas entre neuronas cerebrales, lo que Ising interpretaba como interacciones entre los espines. Su objetivo fue obedecer a unas reglas simples para almacenar información aprendida, que pudiese almacenarse y recuperarse. Introdujo un elemento diferencial que fueron las "*islas locales de espines*", correlacionadas como configuraciones responsables de la memoria. Para la comunicación entre neuronas supuso "*disparos*" que pueden ser liberación de neurotransmisores en las sinapsis que las conectan. Hopfield simplificó la transmisión, asignando una fuerza de interacción entre dos neuronas (lo equivalente a la J de Ising). En Ising los espines interactúan con los espines vecinos inmediatos. El papel de los espines de Ising, en el modelo de Hopfield son los disparos. Si el estado de la neurona es $+1$ es que ha disparado una señal eléctrica y si es -1 , no la ha disparado. La ecuación de Hopfield para la energía de inter-

acción es muy similar a la de Ising y emplea la misma matemática: dos neuronas que disparan o no al unísono, incrementan el estado de conexión y en el caso opuesto, reducen la conexión. La variable de espín, S_i , se traslada a la variable neurona, n_i y la energía de interacción se escribe ahora como $E = \sum_i w_{ij} n_i n_j$. Es decir, en lugar del término J para el cambio de estado de cualquier par de neuronas, se introduce w_{ij} , uno para cada par (por lo tanto, podrían ser diferentes para todos los pares). Este elemento de ponderación dicta la intensidad de la comunicación de una neurona i con una neurona j vecina siendo, por tanto, una medida de la eficacia de la sinapsis entre ambas. El objetivo de Hopfield es establecer las fuerzas de conexión. Hay limitaciones derivadas de que la analogía con la memoria humana es, relativamente débil. La memoria humana es más compleja que la de un material "magnetizado". Las personas están vivas y ejercen un control sobre los procesos, consciente o no. Pero la utilidad de las redes neuronales es que pueden recordar. Se han formulado, tras Hopfield, muchas modificaciones del modelo. En la red de Hopfield se le muestra a la red neuronal lo que han de aprender para entrenar las sinapsis e identificar los patrones, las pautas y las denominadas redes no supervisadas se entrenan por si solas para aprender nuevos recuerdos. El eje de aplicación es el tratamiento de gran cantidad de datos sin categorías preexistentes obvias. La red adquiere inteligencia que identifica las clases naturales en las que encuadrar los datos. El modelo de Hopfield es un ejemplo clásico de translación de conceptos de un campo a otro, del ferromagnetismo a la memoria asociativa.

El eje de aplicación es el tratamiento de gran cantidad de datos sin categorías preexistentes obvias.

El trabajo de Hopfield es un ejemplo de traslación de conceptos de un campo a otro.

Se supone que el cerebro humano recupera la información mediante asociación.

Hopfield introdujo las redes neuronales como un modelo de juegos de memoria asociativa. En el patrón de memoria del cerebro humano, se supone que se recupera la información a través de la asociación. Supone que, cuando un patrón suficientemente similar a uno de los almacenados se le presenta a una red neuronal, el sistema es capaz de recuperar el patrón correcto, por la vía de recuperación clásica. Los dos elementos clave para hacer esto son: a) una dinámica sobre un sistema de N espines binarios ($\sigma_i = \pm 1$, $i \in (1, N)$) que representa la actividad neuronal (+1 disparo, -1 silencio); b) un acoplamiento w_{ij} , que conecta la neurona i -ésima con la j -ésima, que debe ser capaz de almacenar la serie de p patrones de memorias diferentes, $\xi_i^{(\mu)}$ (es decir configuraciones de espines concretas) con $i \in (1, N)$, $\mu \in (1, p)$. Memoria recuperable significa una fase en la que la dinámica dirige al sistema hacia configuraciones que están próximas a una dada. En el marco de los sistemas cuánticos abiertos se puede estudiar la competición entre los efectos cuánticos y térmicos. En particular una neurona puede cambiar su estado de actividad a una velocidad $\Gamma_{i\pm}$, como en el modelo clásico o sufrir un cambio de estado cuántico debido a la coherencia como directriz, de forma que puede describir la dinámica incluyendo la descripción clásica, es decir, estados estacionarios correspondientes al equilibrio térmico. Los patrones de memoria se almacenan como mínimos de energía de la función energía frente a la función de neurona (en Ising de espín). Cuando la red neuronal se ha inicializado suficientemente próxima a un patrón almacenado en la memoria, se puede recuperar el patrón almacenado correspondiente. De

haber presentes efectos cuánticos, la naturaleza de los estados no es trivial debido a la competencia establecida entre la coherencia cuántica y la dinámica clásica irreversible. En todo caso, la técnica empleada en la Física estadística de sistemas desordenados permite investigar las redes neuronales de Hopfield cuantitativamente. En el lenguaje de la Física estadística, la fase de recuperación es la fase de temperatura, correspondiente al ámbito en que los patrones de memoria son estados estables de las redes neuronales, es decir, los estados estacionarios de equilibrio.

En el lenguaje de la Física, la recuperación corresponde a los estados estacionarios de equilibrio.

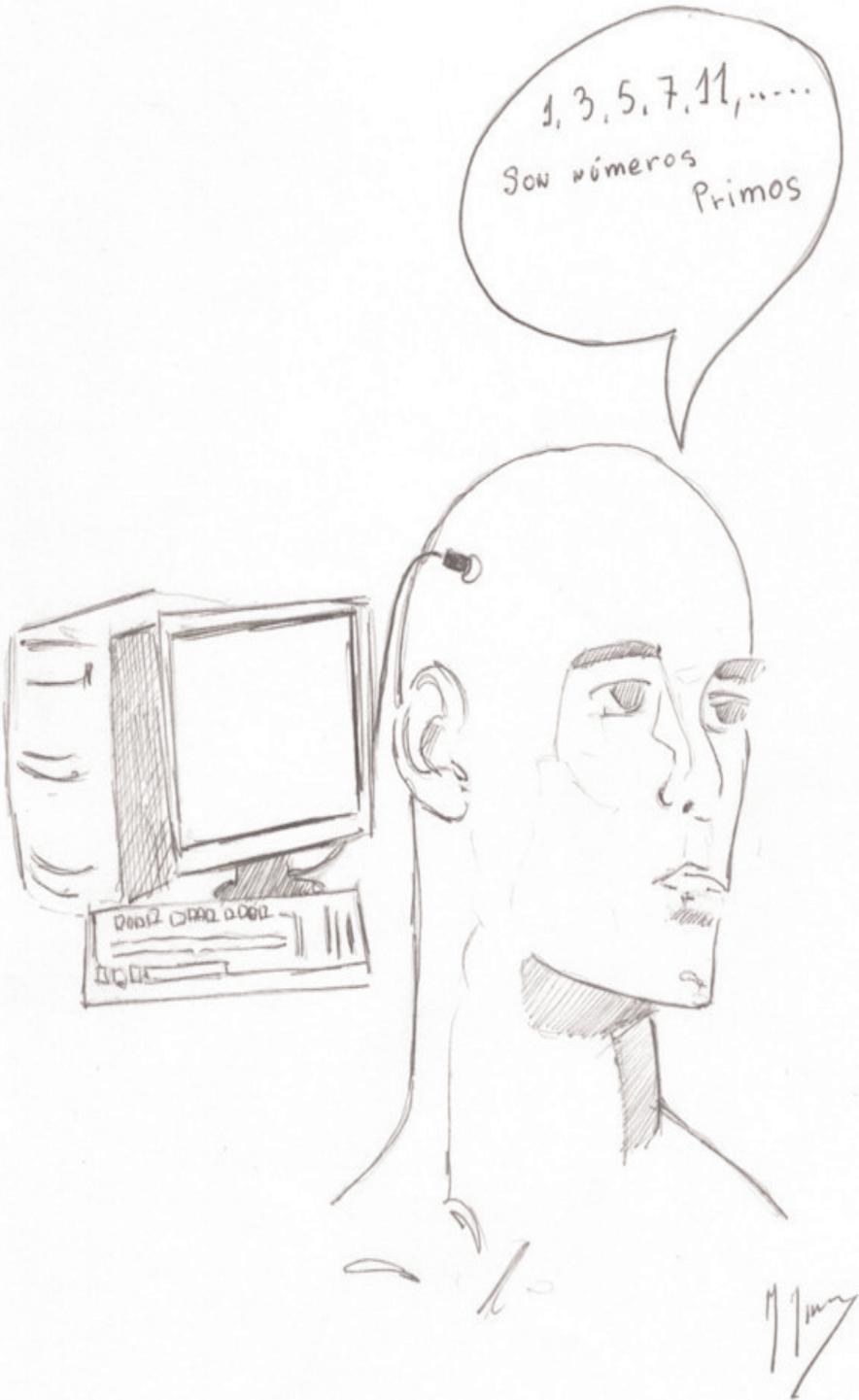
Al incluir los efectos cuánticos, mediante una generalización a sistemas cuánticos abiertos del modelo de memoria asociativa, es decir el modelo de Hopfield, al igual que en el caso clásico, es posible usar un tratamiento del campo promedio (análogo del campo auto-consistente de la Mecánica Cuántica convencional, SCF) para determinar los diagramas de fases. Se identifica la fase de recuperación con puntos fijos asociados a los patrones clásicos y los efectos cuánticos se incorporan mediante la inclusión de una temperatura efectiva. Como evidencia Rotondo y col. hacen notar la existencia de una nueva fase caracterizada por ciclos límite, consecuencia de la conducción cuántica del proceso. En realidad, se trata de una extensión natural del paradigma de las redes neuronales al dominio de los sistemas cuánticos abiertos.

Siempre es posible emplear la aproximación del campo promedio.

Una de las áreas especialmente interesantes de la computación es la relacionada con las redes neuronales. El impacto de los efectos cuánticos se revela decisivo. Es muy interesante implementar la dinámica de las redes neuronales en términos de sistemas cuánticos

La red neuronal de Hopfield se puede generalizar a un sistema cuántico abierto para modelar la memoria asociativa.

abiertos markovianos, que permite un tratamiento adecuado de los efectos térmicos y los coherentes cuánticos en pie de igualdad. En particular, la red neuronal de Hopfield se puede generalizar a un sistema cuántico abierto para modelar la memoria asociativa. Las fluctuaciones cuánticas dan lugar a una nueva fase cualitativa de no equilibrio. Esta fase se caracteriza por ciclos límite correspondientes a la estacionariedad multidimensional que viene a suponer una generalización de patrones clásicos de almacenamiento al dominio cuántico. Se abre una perspectiva nueva, profunda e interesante que promete interesar al campo de tratamiento de la información mediante redes neuronales, incorporando elementos cuánticos. La computación cuántica requiere algoritmos apropiados para la herramienta. Este es un camino abierto, que hay que recorrer.



Remolinos

Ciertamente el mundo está ostensiblemente integrado de diversidad. Al final, los átomos están en todas partes. Son los mismos aquí que en Pekín, en la Tierra que en los confines del Universo. Las reglas de juego, los principios físicos y químicos son los mismos en todas partes. La diversidad solamente se debe a las distintas formas de combinarse que conducen a resultados diferentes. Ahora bien, no podemos caer en el error de suponer que la diversidad es aleatoria. No es posible cualquier resultado, no solo porque empíricamente se evidencia que es así, sino porque los principios restringen los resultados. El marco regulatorio establece las condiciones en las que tiene lugar la gestación de la diversidad. Se pueden observar patrones que permiten identificar clases de componentes de esa diversidad. Emanan de los principios rectores de nuestro Universo.

Los átomos están en todas partes.

Está de moda decorar el café con figuras construidas con mucha habilidad sobre la superficie del mismo en la taza, utilizando una mezcla de leche y nata que permite crear dibujos artísticos. Desde la flor de lis, hasta tréboles o cualquier figura floral permanecen un tiempo mientras se enfría el líquido para poder saborearlo. Leche y café son dos fluidos distintos, que se rodean cada uno del otro, minimizando su contacto. Las moléculas que forman uno y otra pretenden mantener sus propios sitios sin mezclarse. Cuando removemos, para que se mezclen, generamos una espiral claramente visible unos segundos. Después de ella los dos líquidos se mezclan. Nos trans-

Hoy es usual hacer dibujos sobre el café.

mite la idea de que la mezcla de dos líquidos ni es inmediata ni discurre espontáneamente, sin más. Sigue un patrón.

Los remolinos se forman cuando confluyen dos corrientes contrarias.

Los agujeros negros se comportan como los remolinos.

Los remolinos son un comportamiento usual en la atmósfera.

En la Naturaleza cuando dos corrientes contrarias se encuentran, se produce el remolino. Dos frentes, una de aire frío y otra de caliente, cuando se encuentran describen como una danza, en lugar de mezclarse sin más. Las mareas ascendente y descendente, cuando interactúan producen una fricción en forma de cizalla que genera un remolino. En los ríos se da cuando fluye agua en un espacio estrecho y choca una corriente de agua rápida con otra más lenta. En las cascadas el agua que cae impacta contra la que hay en reposo o cuasi reposo y la presión del agua que cae va a reunirse con otras corrientes agitando las aguas y formando remolinos. En un desagüe el agua intenta fluir como un todo por aquél y el aire de la fuga empuja al agua provocando el giro. Vemos pues, que las causas son diversas, aunque el resultado es el mismo. El funcionamiento parece ser muy similar al de los agujeros negros que absorben cualquier partícula por su vórtice. Los remolinos consumen gran cantidad de energía.

En la atmósfera, la formación de remolinos es espectacular. Próximo a la costa gallega, a Irlanda y las Islas británicas llegan remolinos que provocan la inestabilidad genuina que sufren estos territorios. Frio polar procedente del norte interacciona con el aire tropical procedente del sur y de esa danza y persecución de uno y otro se generan los remolinos, inscribiendo círculos. Las imágenes usuales de la AEMET que utilizan todos los reporteros del tiempo nos sirven los remolinos habitualmente. Es un patrón de comportamiento atmos-

férico constante. Estos remolinos se suelen denominar ciclones, cuyos brazos al girar determinan el tiempo que nos afecta: ventoso, lluvioso o soleado.

La cuestión es la semejanza que podemos establecer entre una borrasca que se expresa en una espiral giratoria y la taza de café con la leche en la superficie que hemos removido al comienzo. Comparten principios, por muy distintas que sean las escalas en las que se den ambos. Al mover la cuchara, empujamos hacia adelante el líquido, pero no puede recorrer mucho espacio, porque choca con la pared de la taza. Como el líquido no puede avanzar en línea recta, empieza a describir círculos. A medida que avanza, se acumula en las paredes, que la retienen y empujan hacia atrás. El líquido intenta avanzar en línea recta, pero acaba moviéndose en círculos, porque se ve obligado a girar. Sube el líquido por las paredes, a costa de que disminuye en el centro, formando como un agujero. Al sacar la cuchara, el agujero sigue ahí y el líquido sigue girando, conforme el líquido se va deteniendo y el empuje que lo hace circular es menor y hay menos líquido en las paredes de la taza. Se ha perdido la espiral que formaba la leche sobre el café. Ya está todo mezclado. Si fuera una borrasca, empezaría a desactivarse.

Hay una semejanza entre una borrasca y el dibujo sobre el café en una taza.



Señales de vida

El astrónomo italiano Schiaparelli informó en 1877 de la presencia de canales en Marte. Al margen de que, posteriormente se reconoció que había sido un error, la traducción al inglés del término italiano *canali* no se identificó con el término anglosajón *channel* que se asocia a una vía (no siendo necesariamente de factura humana), sino con el término *Canals*, que en inglés tiene la connotación de factura humana. Esto ha tenido una enorme incidencia por cuanto condicionó la actitud de la gente hacia Marte, largamente influenciada por el trabajo y la imaginación del astrónomo americano Percival Lowell, que en los comienzos del XIX publicó varios libros sobre Marte, el último de los cuales fue titulado *Mars as an Abode for Life* (Marte como morada de vida) y que describía un vasto sistema de irrigación que transportaba agua desde las regiones polares al resto de la superficie del planeta rojo. Estas ideas supusieron una excitación de la imaginación de la gente. Después de Lowell apareció el libro de H.G. Wells *War of the Worlds* y el concepto de vida en Marte se asentó firmemente en la psique de los humanos y no se puede decir que hoy se descarte, todavía, para algunos.

La idea de vida inteligente no es un invento del siglo XIX, sino que viene de muy atrás, incluso de la Grecia Clásica. Pero fue en el siglo XIX cuando se dio el paso que media entre la creencia fantástica y la pretensión de darle un respaldo científico y aventurar predicciones sobre la posibilidad de vida extraterres-

Schiaparelli informó en 1877, erróneamente, de la presencia de canales en Marte.

Percival Lowell publicó libros sobre Marte, describiendo sistemas de irrigación sobre su superficie.

La guerra de los mundos de Wells, acabó de perfilar la leyenda de Marte.

La existencia de vida extraterrestre siempre ha preocupado a la Humanidad.

Vida similar a la nuestra requiere energía, oxígeno y agua líquida.

En Marte debió fluir agua.

tre. En un planeta distante la vida no tiene por qué parecerse a la terrestre pero, no obstante, se buscan condiciones similares a aquéllas en las que ha evolucionado la vida en nuestro planeta. Todas las formas de vida en la Tierra dependen del suministro de energía, solar fundamentalmente, y de agua líquida. Concretando algo más, la forma de vida compleja tal como la del Homo sapiens, requiere oxígeno libre para poder darse. Así que, la búsqueda de vida conlleva dar con entornos en los que haya agua líquida, como haríamos en nuestro planeta. El foco lo deberemos poner, en primer lugar, en nuestro propio sistema planetario. Tanto Mercurio, como nuestra Luna, no tienen atmósfera y son solamente una especie de rocas estériles. Venus tiene una atmósfera de dióxido de carbono muy delgada y por efecto invernadero alcanza temperaturas de hasta 450 °C, lo que se sitúa muy por encima de la temperatura de ebullición del agua. Marte es el más intrigante, no por los canales de Lowell, sino por las fotografías tomadas por las naves que se han acercado que muestran que el agua debió fluir sobre su superficie. Esto sugiere que en algún momento debió tener una atmósfera delgada, pero es un planeta pequeño, mucho más pequeño que la Tierra y la atmósfera debió escapar y la capa fina que debe quedar es incapaz de retener suficientemente el calor para permitir que haya agua líquida. La temperatura en la superficie de Marte es de 0°C, aunque puede haber agua congelada debajo de la superficie y es posible que existan bacterias vivas resistentes al frío. Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno son, básicamente, grandes bolas de gas inapropiados para la vida, y son un conjunto de rocas congeladas. Probablemente, uno de los lugares mejores para apostar por

encontrar vida es una de las lunas de Júpiter, concretamente Europa. La gravedad de Júpiter produce mareas de fuerza que generan suficiente calor para mantener la temperatura por debajo de la superficie de Europa, por encima del punto de congelación del agua y que se dé la existencia de un océano de agua líquida por debajo de una capa de hielo.

En la luna de Júpiter, Europa, hay condiciones para que haya agua líquida.

Es razonable suponer que cualquier forma de vida que se encuentre en nuestro sistema solar será muy primitiva. Para encontrar vida inteligente, habrá que mirar fuera, muy lejos. Hasta hace bien poco no hemos conocido una estrella distinta a nuestro Sol, que tenga planetas que orbitan en torno a él, aunque no es probable que sea única la formación de un sistema solar en el Universo. Los primeros planetas fuera de nuestro sistema solar se descubrieron en 1991, pero no son adecuados para albergar vida. En 2001 se descubrieron dos planetas como la Tierra orbitando alrededor de una estrella como nuestro Sol a 57 años luz de distancia. Detectar planetas extrasolares de este tipo, no es nada fácil. Menos lo es identificar que son adecuados para que exista vida y ya resulta muy complicado concluir que realmente hay vida en ellos. Finalmente, resulta casi inalcanzable describir si la vida ha evolucionado hasta ser inteligente.

Para encontrar vida inteligente hay que mirar fuera del sistema solar.

Los astrónomos detectan la existencia de planetas mediante el efecto de su movimiento sobre su estrella. No es un método reciente, sino que ya triunfó en 1846. El primer planeta descubierto, tras los conocidos en tiempo de los griegos, fue Urano, descubierto en 1781, por el entonces astrónomo aficionado Herschel. Urano no se movía según la trayectoria predicha por las leyes de Newton y pro-

La existencia de planetas se detecta indirectamente.

Hay un firme convencimiento de que no estamos solos en el Universo.

vocó que muchos astrónomos pensarán que la explicación más probable era que debía existir otro planeta que a través de la atracción gravitacional perturbara la órbita de Urano. En 1840 dos teóricos como Le Verrier en Paris y Adams en Cambridge estudiaron teóricamente como debería ser este planeta nuevo. En 1846 fue localizado el planeta con una precisión de un grado sobre la predicción de Le Verrier. La predicción era que conforme pasara el tiempo se descubrirían nuevos planetas, en aquel momento invisibles. Seguimos en ello. Más Ciencia, más Tecnología, más capacidad para escudriñar el Universo, pero sobre todo más firme convencimiento de no estar solos.



TRAZO 6.6

Simetría y simpatía en el Cosmos

Pitágoras desarrolló una cosmovisión en la que tenían una especial relevancia las consonancias primarias que justificaban el patrón armónico, tanto en los sonidos audibles de un martillo contra una pieza metálica situada sobre un yunque, como en el movimiento de los astros y, finalmente, en todas las cosas. Microcosmos y Macrocosmos estaban íntimamente relacionados. Pitágoras abogaba por una única ley que somete y subordina todas las cosas y esa relación global era la sinfonía del Cosmos. La concepción era de un monacordio cuya única cuerda se extendía desde el cielo a la Tierra, desde el *Espíritu Absoluto*, hasta la materia. Armonía universal, proporción divina. La música de las esferas a la que dio crédito, mucho tiempo después, Kepler.

Pitágoras abogaba por una única ley.

Armonía Universal, proporción divina.

El pasado febrero de 2015 se publicaba en la revista de la American Physical Society el descubrimiento de una nueva clase de estrellas enanas azules variables (estrellas RRc Lyrae) ubicadas en la constelación Lyra (a 16.000 años luz de distancia), que emitían pulsos con un patrón fractal con una frecuencia próxima al número de oro (estrellas áureas). Learned, Ditto y col. estudiaron el comportamiento que describieron como extraño (por fractal) no caótico (al no ser totalmente al azar, sino a medio camino entre orden y caos). Se llegó a pensar que podía tratarse de una comunicación extraterrestre pero, finalmente, se descartó tal posibilidad. Las RRc Lyrae tienen, al menos 10.000 millones de años y su brillo varía hasta un 200% en solo 12 horas. Es complicado observarlas desde la Tierra y ha sido gracias

Una nueva clase de estrellas emiten pulsos con una frecuencia próxima al número de oro.

Se postuló, incluso, la posibilidad de que proviniera de una civilización avanzada.

Se concluyó que era un excelente modo de modular las señales de las estrellas.

Ditto detectó que las frecuencias de la estrella seguían la proporción áurea.

al telescopio espacial Kepler que se han podido examinar. Uno de los autores, Learned, había postulado la posibilidad de que alguna civilización avanzada podría haber enviado mensajes estimulando ese tipo de estrellas mediante rayos de neutrinos. Sin duda sería un método de comunicación intergaláctica avanzado. Se trataba, por tanto, de balizas estelares que podían emplearse para buscar señales de modulación de fase. En este caso, se trataba de un proceso natural. Como publicaba en 2014 el propio Learned, se trataba de regímenes de largas y cortas duraciones del pulso y la secuencia de longitudes del periodo expresada como una serie cronológica de datos, presenta un coeficiente de correlación muy elevado (en torno a 99.8%) de números primos. La singularidad del número primo se originaba a partir de dos periodos de pulsación simultáneos. Así pues, se descartaba que se tratara de señales de vida inteligente, pero se introducía una forma posible de modular las señales de las estrellas.

Ditto fue el que detectó que las frecuencias de la estrella seguían la proporción áurea y constituían sistemas a medio camino entre el orden y el caos, que denominó *Atractor extraño no caótico*. Un atractor es el conjunto hacia el que evoluciona un sistema tras un tiempo suficientemente largo. La meteorología, los péndulos dobles y, en suma, la mayor parte de los fenómenos naturales disponen de atractores caóticos. En el caso de las estrellas variables áureas como las RRc Lyrae, el patrón es de un Atractor o dinámica extraña no caótica, que nunca se había identificado en la Naturaleza. Ciertamente se identificaron otras cinco estrellas pulsantes de este tipo, solo tres de ellas con pulsación áurea. La estrella KIC 5520878

los intervalos eran de 30 minutos durante un periodo de 4 años. Las estrellas variables oscurecen y resplandecen siguiendo varias frecuencias. Dos de ellas, de la estrella KIC 5520878 eran 4.05 y 6.41 horas, lo que proporciona una relación de 1.58 que es muy cercano al número de oro $\Phi=1.618\dots$ Es interesante comprender por qué los sistemas se pueden sentir atraídos por la proporción áurea.

Se identificaron hasta cinco estrellas con pulsación áurea.

Este descubrimiento de la proporción áurea en las estrellas no solo nos recuerda a Pitágoras. Platón, en el diálogo que incluye al filósofo pitagórico, Timeo, explica que el tiempo, el número y el Cosmos, fueron creados conjuntamente y es por ello que guardan una relación de simetría y simpatía. Ciertamente flores, hojas de árboles, caparazones de caracol, fractales, espirales de galaxias, así como en diseño gráfico, fotografía y arquitectura por la sensación de orden y equilibrio que transmite, en suma armonía. Otra cosa es: ¿por qué esto es así?

Según Platón, tiempo, número y Cosmos fueron creados conjuntamente y guardan una relación de simpatía y simetría.



TRAZO 6.7

Sin trabajo todas las ideas son abortos

El trecho desde la idea original, ocurrencia, hasta que puede atribuírsele innovación, es largo, tortuoso y no exento de sobresaltos. Tras la idea puede venir el invento, que puede resultar ser una novedad, pero donde la Ciencia dictamina. No siempre pasa a la etapa en que se transforma en un desarrollo, conjuntándolo con otros inventos, sujeto a otros principios bien fundamentados y a ese arte que es la composición con otros dispositivos y herramientas que permitan completar el escenario en el que actúa. El prototipo puede llegar a ser una oferta real. Todavía queda un largo recorrido, por cuanto ahora tiene que presentar ventajas frente a lo existente, haciendo lo mismo, pero con mayor eficacia o haciendo nuevas cosas hasta entonces realizadas con menor eficacia, mayor esfuerzo o simplemente, siendo inalcanzables hasta ese momento. Pero, todavía queda recorrido, por cuanto, solo es innovación cuando la sociedad lo adopta como favorable, sustituyendo con ventaja algún que otro dispositivo, método u objeto anterior o aportando ventajas claras por esa novedad.

La ruta de la innovación.

De la idea a la innovación hay un largo recorrido.

A principios del siglo XIX, Siemens decía "*cieramente, una idea puede ser genial, pero con el invento, nada se hace. Se trata de construirlo, idear aparatos, instrumentos y máquinas, calcularlo, confeccionarlo de tal manera que cumpla su promesa, que desempeñe su cometido, que ayude*". La pronunció cuando advirtió el error del telégrafo de Wheatstone, el que un indicador situado sobre una esfera, provista de letras, oscilaba merced a la

Siemens advirtió de las dificultades de innovar.

corriente remitida desde la estación emisora. Esta corriente se producía accionando una manivela, pero el conjunto era muy sensible y ante los movimientos irregulares de una mano, raramente se percibía una oscilación exacta del indicador. El aparato de Wheatstone era inservible. Requería independizarlo de la mano y que fuera autónomo.

Siemens construyó el primer telégrafo.

La gutapercha para proteger los cables, fue decisiva para el telégrafo.

Siemens se puso manos a la obra y pretendió que un mecánico, muy conocido por él, construyera el nuevo telégrafo. No fue capaz de convencerlo. Tuvo que construir el prototipo él mismo, para después convencer a Haskle, su mecánico preferido, que ahora sí quedó entusiasmado y aplicó su saber y su arte de precisión y logró un prototipo magnífico. Siemens lo propuso al ejército prusiano, que había iniciado un programa para construir el telégrafo eléctrico y logró convencerlos. Un elemento de discordia fue que Siemens era consciente de que los tendidos subterráneos habían fracasado, por cuanto, al final, la humedad penetraba en las protecciones de los cables, y terminaba arruinando el tendido. Siemens propugnaba el tendido aéreo. Por eso recibió, con gran alborozo, las noticias que su hermano Carlos le envió desde Inglaterra, sobre el descubrimiento de una sustancia desconocida en el mercado inglés, la gutapercha, que se comportaba como el caucho, con propiedades muy parecidas, pero que se podía amasar al calentarla. Permitía formar una capa cubriendo al hilo de cobre y fabricarla industrialmente. Con un tendido aéreo, de este tipo, si se iniciaba el desarrollo de la telegrafía eléctrica.

Con mucho sentido, propuso en la comisión correspondiente del ejército en la que se abordaban estas cosas, que las líneas telegráficas

fueran de uso público. Desencadenó una indignación que tardó en poderse mitigar encontrando una solución. Le propusieron hacerse cargo de la dirección de los telégrafos prusianos, pero rehusó. Siemens se sentía atraído por lo desconocido, por el riesgo, ganar y perder y volver a ganar. Esa era la vida que entendía. Junto con Halske puso en pie una fábrica de telégrafos, fundando la casa Siemens y Halske.

Siemens propuso que las líneas de telégrafo fueran de uso público.

En 1850 apareció una competencia, de la mano de un americano, Robinson, de Nueva York, que presentó en una conferencia un aparato que había descubierto el pintor Sam Morse: el telégrafo escritor de Morse. Empleaba un electroimán y al cerrar el circuito en la estación emisora, se cerraba también en la receptora, alrededor de un núcleo de hierro, que se imantaba durante el tiempo de cierre y atraía una bobina de hierro colocada ante el mismo. Ésta estaba unida a una palanca en cuyo extremo había un punzón. Si la palanca era atraída hacia abajo por el imán, se oprimía el grafito contra una cinta sin fin de papel. Si la corriente era de corta duración, se marcaba sobre la tira un punto y si era de mayor duración, una raya. Morse había elaborado un alfabeto de puntos y rayas.

Robinson compitió con el telégrafo escritor de Morse.

Siemens se percató enseguida de que aquel artificio aventajaba en mucho a su telégrafo, pero advirtió, como hiciera con Wheastone, que el aparato era inservible para la telegrafía a distancia. Construyó un dispositivo de relojería que regulaba, independientemente, la velocidad del rollo sin fin de papel. Construyó un sistema nuevo de imanes, nuevos contactos e interruptores. Este aparato de Morse perfeccionado lo puso en funcionamiento a

Siemens mejoró el telégrafo de Morse.

La debilidad de la recepción de las señales introducidas en la línea hizo que concibiera como solución tratarla como una botella Leyden.

distancia. Pero como los aparatos de emisión y recepción no tenían un papel secundario, era decisiva la estructura de la línea. Había instalado las líneas Berlín-Francfort, la Berlín-Colonia-Bruselas y la que llegaba hasta Viena cuando, en la primera, sufrió la primera decepción, por cuanto las corrientes de Berlín llegaban sumamente débiles a Francfort, hasta el punto de que no hacían reaccionar a los receptores. Pero cuanto más se reforzaron en Berlín, más débiles llegaban a Francfort. La cuestión era que Siemens había calculado la resistencia según la ley de Ohm. Dio rápidamente con la respuesta: la conducción aislada era el equivalente de una botella Leyden. El alambre formaba la capa interna y la tierra húmeda, la capa externa. Debido al fluido recurrente, se cargaba aquella "*botella de alambre*" y la consecuencia era que aumentaba su resistencia. La solución técnica fue añadir derivaciones de las conducciones para evacuar esta "carga eléctrica" y logró con ello hacer funcionar la red.

El telégrafo se universalizó.

El interés por el telégrafo se universalizó. En 1851 el gobierno ruso le pidió que se hiciera cargo de las instalaciones telegráficas en ese país. Salvo los postes, todo lo demás lo tuvo que importar de Alemania. En dos años, había unido Moscú con San Petersburgo y éste con Kronstadt. La línea Varsovia - Tilsit estaba terminada. Varsovia San Petersburgo cuya distancia era de 1.100 kilómetros la completó en seis semanas. En dos años también había finalizado Moscú - Kiew, Kiew - Odesa, San Petersburgo - Reval, y varias otras. A todo esto, Rusia estaba en guerra con Turquía, aliada con Francia e Inglaterra. Todos los puertos del Báltico bloqueados y solamente se accedía por vía terrestre desde Alemania.

Ingléses y franceses desembarcaron en Crimea y Sebastopol llevaba un año sitiada. Precisaban líneas telegráficas con Sebastopol. Se enfrascó en el proyecto, aunque su pasión eran las cosas que hacía en Alemania con Halske. Ya había construido un aparato Morse rápido, pasando de transmitir 40 palabras por minuto hasta lograr transmitir 400. Una nueva máquina, pues. Para largas distancias no bastaba con las pilas de Volta o Daniell y aumentarlas era demasiado caro y dificultoso. Aquí viene la aportación de alcance, por cuanto, Siemens vivió entre 1816 y 1892 y Tesla 1856 - 1943 y en 1886 funda su primera compañía, y fue en 1887 cuando construyó un motor de inducción sin escobillas y alimentado con corriente alterna. Pues bien, Siemens que murió cuando Tesla tenía 36, ya materializó una máquina que transformaba el fluido eléctrico continuo y débil de aquellas baterías, en corriente alterna, más fuerte y por inducción, antes de 1855. Le obligaron a poner el tendido Moscú - Sebastopol en dieciocho meses. Imposible, pero lo hizo. Los ingleses avanzaron más en los tendidos de los cables, pero no les funcionaba el telégrafo. Recurrieron a Siemens y aceptó. En 1858 implantó su fábrica en Londres. Recibió encargos de tender cables en el Mediterráneo. Incluso otras empresas como Newall y Cia. recurrían a él para el trazado Suez - Adén. Cuando acabó de tirar el tendido, no funcionó y aplicó su aparato de control de la conducción, ideado mientras contemplaba a la gente que acudía presurosa a la estación de ferrocarril: cuando se rompe un cable, el agua, en lugar del cable, sigue conduciendo la corriente. Si conocemos la resistencia de uno y otra, es posible establecer la longitud de la rotura. Así identificó que la rotura en el trazado de

Siemens se adelantó a Tesla en la producción de energía eléctrica alterna.

Siemens puso el telégrafo en medio mundo.

Ideó un procedimiento para localizar averías.

Aden, estaba a tres millas de esta ciudad. Cuando se comprobó, tenía razón. Allí empleó por primera vez el condensador para la cablegrafía. En aquella línea era posible telegrafiar en las dos direcciones.

Encuentro con un joven promotor.

Los inventos no requieren solo ser concebidos, sino realizados.

En cierta ocasión, atendió personalmente a uno de los muchos jóvenes que requerían de él, comprensión para sus ideas. Le decía que un joven veía en la máquina de vapor un artefacto pesado, torpe y lento. La máquina de vapor de gas que imaginaba, decía, podía caber dentro de una canasta y en ella desarrollar 100 HP. ¿por qué no me enseña esa máquina? A lo que el joven contestó que todavía no. Siemens le preguntó ¿entonces por qué viene usted aquí. Soy comerciante, me paso el día vendiendo estampados y pasamanería, pero cuando salgo por la noche sólo pienso en la máquina de gas. Tengo un proyecto. De usted solamente quiero una palabra de ánimo, la necesito. Siemens llenó dos copas de vino y brindó por su invención. Pero le añadió: los inventos no quieren solamente ser concebibles, sino también realizados. En su realización fracasan un 99% de ideas útiles. Grandes ideas que no pueden ser aplicadas a la última posibilidad de utilización práctica, son tenidas por la opinión como utopías. No le deseo suerte, sino que el diablo entre en usted, que realice algo, que trabaje. Sin trabajo todas las ideas son abortos. Esa es la palabra que usted necesita.



TRAZO 6.8

Solo seis, pero ¡vaya seis!

Desde siempre nos fascina contemplar la magnificencia del Universo. Alzar la vista hacia el cielo en una noche estrellada nos conmueve ante el espectáculo grandioso que observamos. La reflexión sobre nuestra existencia sobreviene, inevitablemente. El Universo está regido por unas leyes físicas que permiten que surja la vida. Sobrecogedor. Esas estrellas que contemplamos son las que nos han suministrado la mayor parte de los elementos químicos y ya es sabido que sin Química no podría darse la vida. Las leyes de la Física que rigen el Universo se han ido estructurando de forma que las teorías, que cada vez resultan ser más elegantes, tratan de reducir los fenómenos observados a fenómenos previamente conocidos, reduciendo el número de principios y de constantes fundamentales necesarias para describir los fenómenos.

El Universo está regido por unas leyes físicas que permiten la vida.

El número de constantes físicas depende del sistema de unidades y por eso se utiliza el de Planck o de unidades natural, para que sea el mínimo posible, que son las que se denominan fundamentales. El modelo estándar requiere 25 constantes fundamentales: la constante de estructura fina, la constante de acoplamiento fuerte, el cociente entre la masa de varias partículas y la masa de Planck (seis cocientes para los seis tipos de quark (u,d,c,s,t,b), otros seis para los leptones (e, mu, tau, ν_e y ν_μ), un cociente para el bosón de Higgs y dos para los bosones másicos de la teoría electrodébil (W,Z)), cuatro parámetros de la matriz de Cabibbo-

El modelo estándar requiere 25 constantes fundamentales.

Kobayashi-Maskawa, para describir como oscilan los quarks entre las distintas variedades y, finalmente, cuatro parámetros de la matriz de Maki-Nakagawa-Sakata que describen la oscilación de los neutrinos.

Según Martin Rees seis constantes cosmológicas definen la estructura del Universo.

La relación entre la fuerza de atracción de las masas y la de repulsión de las cargas de dos protones, N , impide que la gravedad nos aplaste.

ϵ es la proporción entre la masa de un núcleo de hidrógeno que se convierte en energía, cuando se fusionan dos átomos de hidrógeno para generar helio.

El astrónomo inglés Martin Rees, presento, en su libro *Just Six Numbers*, seis constantes cosmológicas que definen la estructura del Universo, cuyos valores son críticos para la existencia de la vida, de forma que, ligeros cambios imposibilitarían que existiéramos. N , que es la relación entre la fuerza de atracción de las masas y la de repulsión de las cargas, para dos protones. Su valor es $10^{(-36)}$. Este valor permite a los químicos despreciar la gravedad cuando se consideran varios átomos para formar moléculas. Los efectos de la carga se compensan, pero los efectos gravitatorios se acumulan y crean un campo de atracción gravitatoria que actúa sobre otros cuerpos, tanto más importante cuanto mayor es su masa. De haber sido menor, la gravedad nos aplastaría, las galaxias serían de pequeño tamaño y se habrían formado muy rápidamente y no hubiera habido tiempo para que tuviera lugar la evolución biológica.

El segundo número, epsilon, es la proporción entre la masa de un núcleo de hidrógeno que se convierte en energía, cuando se fusionan dos átomos de hidrógeno para generar helio. Se mide con epsilon y en nuestro Universo vale 0.007. Tiene que ver con la fuerza que hay que superar cuando se divide el átomo. La existencia de la Química depende de este número, y resulta ser, por tanto, un prerequisite para la existencia de la vida. La interacción fuerte sólo se manifiesta a distancias muy

pequeñas. Es como el pegamento que mantiene unidos a los protones. Para formar un núcleo con dos protones, el pegamento es insuficiente para compensar la repulsión electrostática y hay que añadir dos neutrones para que aumenten "el pegamento" y acercarlos lo suficiente para que actúe la interacción fuerte y los mantenga unidos. Esto supone calentar la materia a millones de grados. Si la constante tuviera un valor de 0.006, no estaría unido un protón a un neutrón, el deuterio no sería estable y estaría clausurada la ruta para la formación de helio. No existiría la Química, porque solamente tendríamos hidrógeno, las estrellas no tendrían en marcha la fusión nuclear y no suministrarían ni calor a los planetas ni posibilitarían la vida y, ni siquiera, podrían formarse elementos más pesados para generar planetas rocosos como el nuestro. Un valor de 0.008 si permitiría la fusión nuclear, pero el hidrógeno no habría sobrevivido al Big Bang, de forma que dos protones se podrían unir, con lo que no tendríamos agua, ni tampoco se hubiera formado la biosfera que está basada en el carbono.

ϵ es como el pegamento que mantiene unidos a los protones.

La relación entre la cantidad de materia del Universo, y la densidad crítica, nos da otro número, "omega" cuyo valor es 0.3. No se habrían formado ni las estrellas ni las galaxias si hubiera sido más bajo y si hubiera sido más elevado la expansión habría sido demasiado lenta. Un cuarto número denominado "Lambda" tiene un valor próximo a cero, pero ese valor ha permitido la evolución cósmica ya que controla la expansión del Universo. Conforme el Universo en su expansión sea más oscuro y vacío, dominará a la gravedad. Pero es la gravedad la que mantiene la estructura de las Galaxias y la cantidad de energía

Ω es la relación entre la cantidad de materia del Universo y la densidad crítica.

Λ controla la expansión del Universo.

Q tiene que ver con la gravedad, que mantiene la estructura de las Galaxias y la energía necesaria para destruirlas.

El número clave del Universo es el 3, que es la dimensión de nuestro espacio.

Los números cósmicos establecen las reglas en las que nos movemos.

necesaria para destruirlas y dispersarlas tiene que ver con su masa en reposo. Esta relación determina el quinto número, Q, Su valor es 1 en cien mil y si fuera menor las galaxias tendrían estructuras muy débiles, el Universo sería inerte; pero si fuera mayor el Universo sería violento con enormes agujeros negros colapsando grandes zonas.

Por último, el número clave del Universo es el número 3. Es la dimensión de nuestro espacio. La gravedad obedece la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Las orbitas descritas en los sistemas "solares" son estables y no se advierte desviación en las velocidades mantenidas por los planetas. Si la dimensión no fuera tres, caerían los planetas sobre el Sol si la velocidad disminuyera, o describiría una espiral alejándose si aquélla aumentara. Pero, además, si la dimensión fuera menor de 3, no podríamos habernos incorporado nosotros a ese espacio, como tampoco las estructuras complejas que conforman la vida.

Estos seis números cósmicos establecen las reglas en las que nos movemos tras el Big Bang. Nuestro origen depende de la precisión de estos números, al igual que la Química y nuestra presencia se justifica por sus valores, nuestro colosal asombro se cierne en torno al misterio del Universo como el nuestro, que descansa en estos números y en sus valores concretos que lo hacen posible. ¡Fantástico! ¡Colosal! ¡Asombroso!



Handwritten signature or initials.

Supremacía Cuántica

No cabe ninguna duda de que vivimos inmersos en un mundo tecnológico. El proceso automático de datos está incrustado en todo cuanto imaginamos. La arquitectura de los ordenadores se ha concebido como una especie de "cerebro" donde se deposita un programa que contiene los pasos que resuelven un problema y hace uso de la electrónica más avanzada para capturar los datos, guardarlos, transmitirlos y ofrecer un resultado, en muchas ocasiones en forma de "acción" como respuesta, al modo que lo haría un humano u otra máquina. Han alcanzado cualquier dispositivo y herramienta que podamos imaginar. Buena parte de las tareas que otrora completara un ser humano, hoy se han automatizado. Desde instancias interesadas se difunde la idea de una vorágine que nos envuelve con una celeridad en los avances tecnológicos que convierte en obsoleto cualquier intento de incorporarla a las tareas de las personas. Nada más lejos de la realidad. Ni todo va tan deprisa, ni todo nos arrolla. Pensemos que, en la innovación más revolucionaria de las tecnologías de la información, el móvil, el auténtico talón de Aquiles radica en la batería, incapaz de permitir que las expectativas que introduce la telefonía inteligente puedan cumplirse. No hay más que ver que en los lugares públicos a los que concurre mucha gente, todos los enchufes están copados por teléfonos que recargan su alimentación, incapaces de, en circunstancias de uso intensivo, aguantar un día completo.

Vivimos en un mundo tecnológico.

Ni todo van tan deprisa, ni todo nos arrolla.

Un hecho que ha impulsado el progreso de los dispositivos y herramientas es la miniaturiza-

Impulso de la miniaturización.

El la mecánica newtoniana, la fuerza y la acción son las determinantes.

En la Mecánica Analítica de Leibniz, la energía cinética y el trabajo son las referencias

ción de la electrónica. Evidentemente que todo tiene un límite. Y la cuestión no es tan sólo que ya se manejen tamaños sumamente pequeños, sino que, si entramos en el reino de lo extremadamente pequeño, denominado mundo microscópico, las leyes físicas que rigen no son las clásicas, sino que es la Mecánica Cuántica la que describe a estos sistemas. No se comportan como podríamos describir haciendo uso de la mecánica racional. Una de las propiedades básicas en el mundo cuántico es el propio concepto de estado de un sistema, que, clásicamente, es una de las formas físicamente distinguible mediante la medida de alguna de sus propiedades. Clásicamente, en la mecánica, denominada también newtoniana, se estudian los sistemas en reposo o con velocidades muy inferiores a la de la luz y aquí las magnitudes que determinan el estado son la fuerza y la denominada acción de la fuerza que se mide por la variación de la cantidad de movimiento. En la mecánica analítica que propulsara Leibniz la energía cinética y el trabajo son las magnitudes estrella. La evolución dinámica de los sistemas se efectúa en base al denominado Principio de Hamilton o principio de mínima acción (de aquí se deducen las leyes de Newton), la existencia de un tiempo absoluto, de forma que la medida no depende del observador, independientemente del grado de movimiento y, finalmente, el estado de cualquier sistema queda determinado conociendo su posición y la cantidad de movimiento, que pueden medirse simultáneamente. Conjuntamente, posición y cantidad de movimiento o velocidad, conociendo su masa, son el argumento para el determinismo filosófico que enunció, a través de Laplace, que un super

ser que conociera las dos magnitudes para todas las partículas del universo, sería capaz de predecir el futuro y reconstruir el pasado. Esto fue suficiente para dar trabajo a los filósofos, alguna de cuyas propuestas todavía mantienen algunos.

Posición y cantidad de movimiento son las referencias de Laplace.

En cambio, cuando se trata del mundo microscópico las leyes que lo rigen son las de la Mecánica Cuántica. Las partículas se comportan ahora, de forma impredecible y son capaces de estar en varios sitios al mismo tiempo. El concepto de estado, que era singular, único, en la Mecánica Clásica, ahora pasa a ser una superposición de todos los estados posibles en el que cada uno de ellos tiene una probabilidad de concretarse. En el marco clásico la energía estaba unívoca y precisamente definida; en el mundo cuántico tiene una incertidumbre: aumentar la precisión en la medida de la energía supone una disminución del tiempo que disponemos para llevarlo a cabo, lo que se denomina tiempo de vida de ese estado. Mucha precisión en la energía lleva a tiempos inasequibles por efímeros.

En el mundo microscópico impera la Cuántica

El Estado de la Clásica, ahora es una superposición de estados en la Cuántica.

Pero el mundo cuántico ofrece muchas ventajas. Miniaturizar hasta el extremo microscópico es la oportunidad del mundo actual. Se pueden efectuar operaciones hoy inalcanzables. Sustituir los actuales transistores por los análogos cuánticos permite poder hacer muchas operaciones al mismo tiempo. Herramienta perfecta para poder simular con capacidades predictivas muy superiores a la tecnología actual. Se revolucionará nuestra forma de comunicarnos, haremos uso del teletransporte cuántico, el dinero cuántico será una divisa imposible de falsificar, la Química será la más beneficiada, prediciendo y contro-

La Cuántica ofrece mucha mayor capacidad que la actualmente disponible.

Una de las grandes beneficiadas con la Cuántica es la Química.

lando cualquier tipo de reacciones (diseño de mejores y más eficaces baterías entre ellas), en Biología se podrán diseñar robots moleculares para cualquier tipo de tareas en nuestro cuerpo, las redes neuronales permitirán todo tipo de complemento (zapatos, por ejemplo) con inteligencia igual o superior a su propietario. El punto actual es conseguir la supremacía cuántica, que se logrará cuando en una tarea concreta, un computador cuántico logre ser más rápido que uno clásico.



TRAZO 6.10

Susurros del Cosmos

Han transcurrido 100 años desde que Albert Einstein nos propuso que la gravedad no era más que una deformación geométrica del espacio-tiempo. Los cuerpos se mueven en el espacio-tiempo, que viene a ser como el soporte invisible del Universo. Anteriormente nos habían hablado de algo parecido, bueno del mismo tema: Newton y Galileo habían comenzado seriamente a hacer interpretaciones trascendentales. Pero tuvo que darse la revolución de comienzos del siglo XX, con la teoría de la Relatividad, para abrir las puertas y contemplar un gran escenario. Einstein vino a establecer algo realmente magnífico: todo lo que tiene energía, lo veamos o no, también gravita.

El espacio-tiempo viene a ser como el soporte invisible del Universo.

Según Einstein: todo lo que tiene energía, gravita.

Imaginemos un tejido rectangular o cuadrado sostenido por las cuatro puntas (p.ej. una cama elástica) sobre el que arrojamamos algún objeto (como una pelota). El tejido se curva, más o menos, en función de la masa del objeto. Supongamos que hacemos girar en círculo un par de bolas unidas por un hilo. Ahora se producen pequeñas ondulaciones que se propagan por todo el tejido, como formando ondas concéntricas, similares a cuando arrojamamos una piedra sobre la superficie tranquila de las aguas de un estanque. No obstante, Einstein, consciente de que las señales de las ondas gravitacionales deberían ser muy débiles, pensaba que jamás se detectarían. No es infrecuente que ocurran cosas de este estilo, cuando la teoría que se formula es potente y encierra fenómenos muy alejados de lo que en

Einstein pensaba que debido a la debilidad nunca se detectarían las ondas gravitacionales.

Dirac pensó que el positrón nunca se detectaría.

ese momento la Técnica es capaz de proporcionar. Con Dirac pasó algo parecido, cuando su Electrodinámica Cuántica proponía la existencia del positrón, que también pensó que no se detectaría jamás y hoy forma parte del más que usual PET (Tomografía por Emisión de Positrones), con la que la medicina nuclear emplea una técnica no invasiva de diagnóstico e investigación in vivo mediante imagen que permite cuantificar la actividad metabólica del cuerpo humano.

En la escala humana las cosas derivadas de la Relatividad no las detectamos.

La cuestión es que a nuestra escala humana estas cosas derivadas de la teoría de la Relatividad no las detectamos, nos pasan inadvertidas. Pero las teorías de Einstein permiten explicar desde los agujeros negros, pasando por el Big Bang, hasta la expansión acelerada de las galaxias. En la Relatividad Especial, ya se asumía que la velocidad de la luz es constante, independientemente de la dirección o la velocidad a la que se mueva el emisor. Y nadie puede superarla, dado que a grandes velocidades los objetos materiales ganan masa y al final supone que para moverlas se precisa energía creciente hasta el infinito (algo parecido a que nos cueste menos mover (acelerar) un carrito que un camión). No es nada intuitivo la constancia de la velocidad de la luz, por cuanto nuestra experiencia vital es que si nos movemos en un vagón de tren en movimiento, sumaremos nuestra velocidad a la del tren. Pero esto, con la luz, no pasa. Si alguien lo observara desde el andén, tendría que ver que las cosas suceden más despacio en el tren, es decir, la Naturaleza hace posible que como la velocidad de la luz es inalterable, los otros elementos que la definen, espacio y velocidad, se tienen que alterar para mantener su constancia. El mundo,

Las teorías de Einstein permiten explicar desde los agujeros negros hasta la expansión acelerada de las galaxias, pasando por el Big Bang.

La constancia de la velocidad de la luz no es intuitiva.

pues, deja de ser estático y el tiempo no es inmutable. En 1971 se comprobó tal extremo con relojes atómicos subidos en aviones que daban tiempos más rápidos arriba que en la Tierra. Aquí las cosas suceden más despacio.

El mundo no es estático y el tiempo no es inmutable.

Así las cosas, Einstein decidió introducir la gravedad, concluyendo que es capaz de ralentizar los sucesos y deformar el espacio. El espacio visto como el tejido al que aludíamos anteriormente se deforma al colocar algo sobre aquél, creando una especie de embudo a su alrededor. Un segundo objeto situado cerca del anterior y moviéndose ambos, acaban rodeándose y acercándose cada vez más. Aparentemente, es como si se atrajesen, aunque no sea así el efecto. Sí es cierto que las masas cambian sus trayectorias, como si se tratara de salvar irregularidades en el itinerario. Y estos cambios no sólo lo efectúan las masas, sino también la luz y otras manifestaciones de la energía. La luz viaja en línea recta en el vacío, como quedó patente en los experimentos de Eddington en 1919, aprovechando un eclipse de Sol y comprobando que se pudieron ver estrellas que no deberían estar donde se les encontró como consecuencia del eclipse. El Sol con su gran masa desviaba la trayectoria de la luz. El salto al estrellato de Einstein aconteció entonces, especialmente. Pero, además de esto, la gravedad predecía que se comportaría como lo hacen las ondas. Esto suponía que dejaba de verse como si se tratara de fuerzas instantáneas y a distancia, como implicaba la teoría clásica de Newton. Algo "mágico" que asumimos con una facilidad fuera de lo común, sin reparar que suponer tal tipo de interacción entre la Tierra y la Luna, pongamos por caso, implica que se propaga a velocidad superior a la de la luz,

La gravedad ralentiza los sucesos y deforma el espacio.

La gravedad, además, se comportaría como lo hacen las ondas.

caso de que esa fuerza a distancia se dé instantáneamente.

Se han detectado las ondas gravitacionales.

Hulser y Taylor detectaron en los setenta del siglo pasado una señal procedente de un púlsar.

Reitze y col., del proyecto LIGO detectaron las ondas gravitacionales de un par de agujeros negros.

Hace horas que el director del experimento LIGO, Reitze, afirmó "Hemos detectado ondas gravitacionales". Quizás añadió Eureka. Acontecimientos violentos como la fusión de supernovas o fusión de agujeros negros, podrían estar en la raíz de las ondulaciones detectadas. Predichas por la Teoría General de la Relatividad y todavía no demostrado experimentalmente 100 años después. En los años 70 del siglo pasado, Hulser y Taylor detectaron una señal emitida por un púlsar, que es una estrella de neutrones que se origina como consecuencia de la explosión de una estrella gigante y que no encontraron forma de explicar, salvo que se tratara de un sistema binario, de forma que el púlsar y una estrella de neutrones orbitaran en torno a un centro de masas y que esto originara las ondas gravitacionales. Hasta ahora nadie había detectado tales ondas. Las instalaciones del proyecto LIGO se encuentran en Livingston (Louisiana) y Hanford (Washington). Según cuentan detectaron, sucesivamente (separadas por pocos segundos) unas distorsiones de una fracción de segundo. Esto acontecía el pasado mes de septiembre. Comprobaciones ulteriores en Caltech y MIT en Boston permitieron construir el relato astronómico. Se atribuyen los hechos a dos agujeros negros, equivalentes a 29 y 36 veces la masa del Sol que se fusionaron hace 1.300 millones de años. La cuestión espectacular es el nivel de detección que ha supuesto para el experimento. Se habla de que han detectado un desplazamiento del tamaño de un átomo de hidrógeno medido en una distancia similar a la que media entre el Sol y Saturno, según afirma

Alicia Sintés de las Islas Baleares y única española que forma parte del equipo de LIGO. El nivel de detección es realmente espectacular si pensamos que el tamaño de un átomo de hidrógeno ya supone dividir una micra (tamaño de una célula, por ejemplo) por un millón. Pues todavía tendríamos que dividir por otro millón ese tamaño, para alcanzar el tamaño del desplazamiento que han detectado. ¡Espectacular!

Se ha iniciado una nueva era, que los científicos del ramo denominan "Era de la Astronomía Gravitacional". Los sucesos del Cosmos nos llegan como suaves susurros. Hemos tardado 100 años en lograrlo. Los denominados agujeros negros encierran mucha información valiosa sobre nuestro pasado cosmológico. Observarlos es muy complicado, porque al no emitir luz, no se pueden observar directamente. Pero emite ondas gravitacionales en ciertas condiciones, como ocurre con la absorción por otro agujero negro, como ha sido el caso en el experimento observado ahora. "Oímos" el Cosmos, como susurra y narra su propia Historia. ¡Estamos de enhorabuena!

Se ha iniciado una nueva era con los susurros que llegan del Cosmos.

Queda por conciliar la gravedad y la teoría cuántica. La Física del mundo microscópico utiliza conceptos probabilísticos, en los que no cabe la descripción exacta de la trayectoria de una partícula, sino que hablamos de la probabilidad de encontrar las partículas. Aquí rige la Mecánica Cuántica. Pero no es razonable que por el hecho de deformar el espacio-tiempo, tengamos que aplicar leyes diferentes. El espacio-tiempo, debería ser probabilístico: no sabemos exactamente donde se encuentra la materia y tampoco debemos conocer exacta-

Queda por conciliar la gravedad y la teoría Cuántica.

Cuántica y Relatividad generan nuevos conceptos como que los agujeros negros emitan la radiación de Hawking.

mente como es la forma del espacio-tiempo. Si se conectan ambas teorías, relatividad y cuántica, aparecen nuevos conceptos y efectos, como el hecho de que los agujeros negros emitan la radiación denominada de Hawking, que dependen de su tamaño. Si tuviéramos un agujero negro del tamaño de una bacteria, lo veríamos de color blanco, dada la elevada temperatura a la que estaría. Por cierto, esto pone en entredicho la denominación de "negro". Si seguimos reduciendo el tamaño, acabaría explotando. Nada se ha medido, todavía. El escenario que se abre, siempre que se contesta a una pregunta, nos plantea muchas otras. Y así, ... sucesivamente. Así es el conocimiento. Recordemos que las ondas gravitacionales son al gravitón, lo que la luz es al fotón. Se va cerrando el círculo. ¡Superlativo!



TRAZO 6.11

Telégrafo electroquímico

No deja de sorprender, la facilidad con la que se ha comunicado la Ciencia en todo tiempo y lugar. Si bien es cierto, que en el pasado, como hoy día, la existencia de centros donde se acumulaba la actividad de investigación, no lo es menos que en lugares muy distantes se concibieran, formularan y desarrollaran incursiones en la cueva de lo desconocido, haciendo emerger nuevos conocimientos. Así, todo avance iba orlado por cantidad de intentos de aplicación, ampliaciones o sugerencias en campos aledaños. Y es que, la base de la Ciencia consiste en que sus fundamentos se van asentando, conforme se encuentran explicaciones coincidentes, aplicaciones donde se pronostica con acierto y desarrollos basados en aquellos principios, que no solo contribuyen a afianzarlo, sino que suponen avances, aportando nuevas aplicaciones o mejorando las existentes, con mayor eficacia, rentabilidad o simplicidad. Del mismo modo, cuando los modelos se ven superados, se contrastan deficiencias y la Ciencia genera nuevos paradigmas que sustituyen a los anteriormente formulados y periclitados. Así se avanza, empezando de nuevo, pero con todo lo anterior acumulado, tanto lo positivo como lo negativo. Así se avanza en el conocimiento. Como diría el paisano: "*solo falta quienes hagan eso*". Así es, siempre ha sido así.

Cuando los modelos se ven superados, la Ciencia genera nuevos paradigmas que sustituyen a los anteriormente formulados y periclitados.

Podremos en escena un caso: nos situamos en 1746, cuando el científico y religioso francés Nollet, dispuso a doscientos monjes formando una circunferencia de longitud una

El experimento de Noilet sobre la velocidad de propagación de la electricidad.

Marconi reconoció como precursor en la telegrafía a Salvá, un médico español, que propuso la línea Alicante Palma, que nunca se realizó

En 1800, Volta propuso la pila voltaica como alternativa a las botellas Leyden.

milla y los conectó con un alambre de hierro e hizo descargar una botella Leyden a través de esa cadena humana, observando que la reacción de todos ellos, era, prácticamente simultánea. Concluyó que la velocidad de propagación de la electricidad era muy elevada. En 1753, un colaborador anónimo de la revista *Scotchs Magazine*, propuso un telégrafo electrostático. Un hilo conductor por cada letra del alfabeto transmitía un mensaje con la conexión de los extremos a la vez, a una máquina electrostática y se observaba la desviación de unas bolas de médula de saúco en el extremo receptor. Poco prácticos, no progresaron. En 1795 Salvá, médico español, barcelonés, presentó en la Academia de Medicina de Barcelona una memoria titulada "*La electricidad aplicada a la telegrafía*", donde proponía el telégrafo eléctrico como factible. En 1796 hizo una demostración en la corte, en Madrid. Propuso establecer una línea Alicante - Palma de Mallorca, que nunca se realizó. Marconi lo reconoció como precursor.

En 1800 Volta propuso la pila voltaica, que suministraba corriente eléctrica continua. Presentaba ventajas sobre la descarga momentánea de las máquinas electrostáticas, con botellas Leyden, único método, hasta entonces, para suministrar electricidad artificial. Cuando se divulgó que la corriente galvánica descomponía el agua, un médico de Munich (como vemos, en aquella época había algunos médicos que hacían Ciencia e incluso tecnología), profesor Sömmerring, polaco de nacimiento, que estudio en la Universidad de Gotinga y descubrió la mácula de la retina en el ojo humano; estudioso de las manchas solares, miembro desde 1823 de la Academia de Ciencias de Suecia y uno de los destaca-

dos anatomistas alemanes, en torno a 1800, tuvo una gran idea, más tecnológica que científica, pero puso las bases de lo que posteriormente hemos conocido como telegrafía. Dispuso un recipiente con agua. Sumergió los extremos de 36 alambres de cobre, uno por cada letra más los diez dígitos (0 -9), treintaicinco de los cuales se unían a treintaicinco contactos situados a distancia. El trigésimosexto estaba conectado al polo negativo de una batería en columna. El polo positivo se conectaba a cada uno de los treinta y seis contactos. Cuando se establecía corriente con uno de ellos, se establecía entre el correspondiente extremo del alambre y el extremo negativo mencionado un circuito eléctrico y en la superficie, junto a ambos hilos, se desprendían burbujas de oxígeno e hidrógeno. Así transmitió, letras, palabras, números e incluso frases por vía eléctrica.

Sömmerring propuso un método para la telegrafía, que empleaba el desprendimiento de burbujas de hidrógeno y oxígeno.

Así pues, conectados los hilos conductores a una pila, iban cada uno desde un cuadro con un selector del signo correspondiente (transmisor) a un electrodo, en una especie de urna transparente, que estaba llena de líquido (receptor) donde se cerraba el circuito. Se provocaba que, desde cada signo seleccionado, marcado en una base de la urna, salían burbujas de gas, como consecuencia de la descomposición del agua. Movía el selector y formaba palabras con las letras sucesivas. Así se elaboraban los mensajes que eran reproducidos en el otro extremo de los hilos, observando las burbujas que se formaban, se identificaba a que letras o números correspondían. El 9 de julio de 1809 consiguió enviar mensajes a una distancia de 12 metros y el 6 de agosto del mismo año, logró transmitir a 312 metros. Fantástico itinerario. Unas ideas llevan a

Con el telégrafo electroquímico se llegó a alcanzar la distancia de 312 metros.

La Ciencia va avanzando seleccionando las propuestas mejor dotadas.

otras. Al final solo perviven las propuestas mejor dotadas, haciendo caso omiso a recomendaciones e intentos prescindibles que pudieran darse en el camino. Así avanza la Ciencia, incluso cuando las soluciones son efímeras, como pudo ser ésta, que incluía, no pocas complicaciones.



TRAZO 6.12

Tiempo atmosférico calculado

Hasta primeros del siglo XX, el tiempo atmosférico se pronosticaba casi exclusivamente desde la experiencia del meteorólogo que recopilaba datos de estaciones meteorológicas y los plasmaban sobre mapas incluyendo presión, vientos, temperaturas y trataban de inferir la evolución de la atmósfera por comparación con escenarios similares anteriores. Hasta que a finales de la primera década del siglo XX, Richardson, hacía reparar que en Astronomía las efemérides se predecían a partir del conocimiento detallado de las órbitas y los movimientos de los planetas. En base a ello propuso resolver las ecuaciones que determinan la evolución de los vientos, la presión o la temperatura. La cuestión resultaba muy compleja, dado que en cada punto las características dependen del valor de la magnitud en el instante anterior y también de los valores que adopta en los puntos vecinos, además de depender de otras variables, que a su vez dependen de los valores que adoptan en puntos próximos. Dado que la evolución temporal de una variable responde a una ecuación diferencial, al final el problema consistía en resolver muchas ecuaciones diferenciales, simultáneas y acopladas. Para reducir el problema, redujo las ecuaciones diferenciales, que son distribuciones continuas en el espacio y en el tiempo, por una malla discreta, tomando unas celdas y dividiendo la atmósfera en capas. Concretamente consideró 125 celdas tridimensionales para cubrir Europa, tomando 5 capas en vertical y las celdas eran de 200 km de lado y su número era de 25 por capa. Cada celda, supuso que las variables

Richardson propuso una aproximación razonable para predecir los eventos atmosféricos.

Abordar la predicción meteorológica implicaba resolver muchas ecuaciones diferenciales.

tomaban un único valor. Para discretizar el tiempo, consideró intervalos de 6 horas, reemplazando las derivadas temporales de las variables por simples diferencias.

Evidenció que el tiempo podía calcularse.

Para lograr obtener buenas aproximaciones se precisaban 64.000 personas calculando en todo el planeta.

Empleó los datos observados de una parte de Europa y pretendió predecirlo 6 horas después en un punto elegido. Con ello pretendió evidenciar que el tiempo atmosférico podía calcularse, pese a lo rudimentario del procedimiento. La resolución exigía dedicación durante un tiempo del que no disponía. Posteriormente, al declararse objetor de conciencia en la Primera Guerra Mundial y alistarse voluntario como conductor de ambulancias y destinado en Francia, aprovechó el tiempo vacante para efectuar los cálculos, lo que completó en seis semanas con papel, lápiz y unas tablas de logaritmos. Fue un fracaso, ya que los valores obtenidos estaban muy alejados de los reales. La razón no era un error de cálculo. Pensó que con 64.000 personas calculando en todo el planeta lograrían predecir el tiempo a tiempo. Una red de observatorios ofrecería la lectura de datos y se dispondría de la información resultante en todo el mundo. Los ordenadores que promovió von Neuman y que emergieron en la década de los 40, soslayarían a la enorme cantidad de personas que intuía Richardson. Von Neuman y Jule Charney resolvieron numéricamente las ecuaciones en el primer ordenador electrónico, el ENIAC, que desarrollaron los científicos de la Universidad de Pensilvania, a finales de la segunda guerra Mundial y financiado por el ejército de Estados Unidos para efectuar cálculos balísticos.

En 1950 Von Neuman y colaboradores publicaron los primeros resultados de predicción

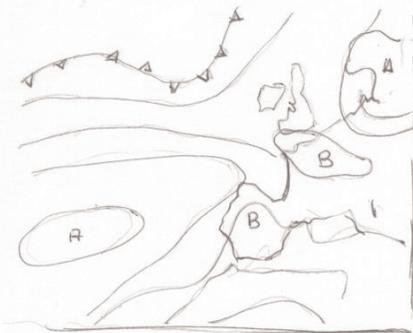
del tiempo atmosférico. Emplearon una malla cuadrada de 15 x 18 para cubrir los Estados Unidos, con longitud de 736 km. El ENIAC tardaba 24 horas en resolver las ecuaciones. La reducción del tiempo de cálculo era vital para resultar útil la predicción. Entre tanto, apareció en escena Lorenz del MIT con formación en meteorología. Se postulaba que la utilidad de los ordenadores era para la predicción sinóptica, pronosticando a partir del pasado de la atmósfera, ahora tratado por el ordenador a toda velocidad, más que el tratamiento dinámico. En la década de los 50, Lorenz llevó a cabo la predicción con los dos procedimientos: estadístico (para el pronóstico sinóptico) y dinámico (resolución numérica de las ecuaciones). Lo hizo en un caso simplificado con 12 ecuaciones y con un ordenador de 16 k de memoria interna. Aprendió a programar ordenadores. Incluyó calentamiento solar, ciclones y anticiclones y vientos. El resultado fue el que cabía esperar, no era ni completamente periódico ni aleatorio y ya se evidenció que hay patrones que se reproducen con más frecuencia que otros, pero la atmósfera estadística no era capaz de pronosticar lo que iba a pasar.

A mediados de la década de los setenta, en el reconvertido IOATS, a espaldas del antiguo Hospital Provincial, en lo que luego fue Instituto Meteorológico, audaces investigadores iniciaban la modernización de la predicción meteorológica en la Región de Murcia. Eran tiempos audaces. Los ordenadores empezaban. Los datos se daban en tarjetas que había que perforar a mano. Los programas, también. Para heladas, la atmósfera se modelaba como un teórico cuerpo negro de Planck. Tiempos heroicos. Grandes hombres aquellos precursores, entusiasmados con lo que hacían.

Von Newman y colaboradores publicaron la primera predicción del tiempo atmosférico.

Lorenz, en la década de los 50 del siglo pasado evidenció que el ordenador valía tanto para la predicción sinóptica como para la predicción dinámica.

A mediados de los setenta, en lo que luego sería el Instituto Meteorológico, se predicían las heladas mediante el modelo del cuerpo negro de Planck. Heróicos investigadores.



17/10

Tierra hueca

"La Tierra es hueca y los Ovnis provienen de una civilización de seres superiores que está oculta en su interior inexplorado", afirmaba. sin aportar ninguna evidencia, el prolífico escritor de ciencia ficción y fantasía, Raymond A. Palmer (1910-1977) o el escritor italiano Amadeo Gianini que publicó en 1958 *Physical Continuity of the Universe and Worlds Beyond the Poles: a Condensation* ('la continuidad física del universo y los mundos más allá de los polos: un resumen'), sin aportar ninguna evidencia, atribuyendo a un aviador norteamericano que en 1947 se introdujo 2300 millas, a través de una entrada, hacia el centro de la Tierra y que allí había tenido un encuentro con un ser de otro mundo. Ciertamente, no fueron los primeros en proponer tal cosa. La Biblia, y por mano de San Pablo en la carta a los filipenses (2-10), dice: "*para que en el nombre de Jesús se doble toda rodilla de los que están en los cielos y en la tierra, y debajo de la tierra*" y San Juan Evangelista, en Apocalipsis (5.3) dice "*Y ninguno, ni en el cielo ni en la tierra ni debajo de la tierra, podía abrir el libro, ni aún mirarlo.*" Es cierto, sin embargo que en la cultura judeocristiana "*debajo de la tierra*" pretende referir el lugar de los muertos o la sepultura. Y es cierto, igualmente, que en la cultura griega el infierno se ubicaba en el interior de la Tierra, Ciertamente es que la Biblia nunca ha pretendido superar el filtro científico, por más que se hayan empeñado muchos, pero vale como referencia para el tema que nos ocupa, para indicarnos que la conjetura de la oquedad intraterrestre viene de lejos.

La referencia a habitantes del interior de la Tierra no es reciente.

La Biblia nunca pretendió superar el filtro científico.

La literatura ha dejado constancia de la estructura de la Tierra.

La literatura nos ha dejado obras fantásticas en las que se asume tal estructura. Así, Edgar Allan Poe, en la novela *La narración de Arthur Gordon Pym* (1833), relata un terrorífico encuentro del héroe y su compañero con seres del interior de la Tierra. Madame Blavatsky, escritora ocultista ucraniana gestó el mito de Agharta, un país subterráneo ubicado en cavernas y túneles bajo el desierto de Gobi, en el que vivía el Rey del Mundo que controlaba el planeta desde hace siglos. Pero es quizás Julio Verne, el más caracterizado autor, con su novela de 1864, *Viaje al centro de la Tierra*, donde cuenta las aventuras de unos personajes que llevan a cabo una ruta a través del interior de la Tierra, desde Islandia hasta Sicilia, atravesando océanos subterráneos y teniendo encuentro con criaturas prehistóricas.

Julio Verne, genial.

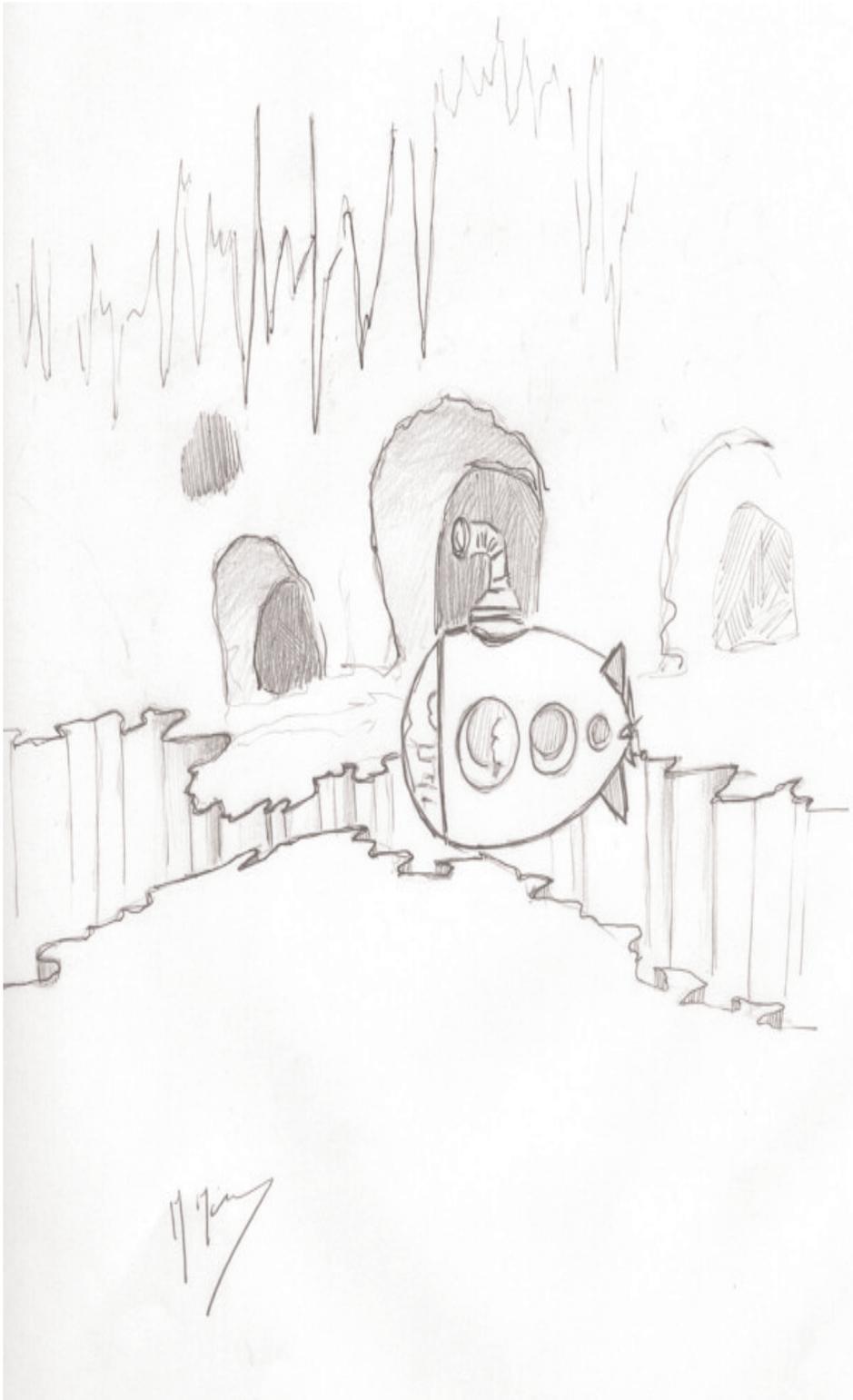
Lehmann desmontó en 1936 la teoría de la Tierra Hueca.

Fue la sismóloga danesa, Inge Lehmann, quién en 1936 desmontó la teoría de la Tierra Hueca concibiendo la estructura actualmente en vigor en la que existe un núcleo que es la parte sólida que se sitúa en el centro de la Tierra y que está dentro de otra parte líquida. Es, por tanto, una estructura muy distinta de la concebida en el ámbito de la Ciencia-Ficción, o en relatos y creencias, sin evidencias. Lehmann propuso, 70 años después de Verne, un modelo denominado "P", que era una discontinuidad sísmica en la estructura de la Tierra, que se bautizó con su nombre. El Planeta dejó de ser una esfera compacta e inactiva, como hasta entonces. Ya no cabía concebirla como la Tierra Hueca de sus antecesores.

Hoy sabemos algo más. El núcleo es una especie de bola sólida de hierro y níquel (5%), fundamentalmente, y otros elementos más ligeros como, tal vez, azufre y oxígeno, cuyo diámetro es del orden del de la Luna y que en la capa externa, que es mayor que el tamaño de Marte, tiene una aleación de hierro fundido que actúa como si se tratara de un lubricante que posibilita que el núcleo interno se mueva independientemente del resto del planeta. En lo que no afinó demasiado Lehmann fue en la estimación de la temperatura del núcleo, que lo estableció entre 2727 °C y 4727°C, pero que recientemente se ha ajustado en torno a los 6.700°C debido, entre otras cosas, a la presión, que en el interior es millones de veces mayor que en la superficie y a las desintegraciones radiactivas de elementos como Uranio, Torio y Potasio. No obstante la Tierra irradia al espacio más energía de la que genera y por ello se está enfriando, poco a poco.

El núcleo de la Tierra se mueve independientemente del resto del planeta.

La Tierra irradia al exterior más energía que la que recibe y se está enfriando.



TRAZO 6.14

Un proceso llamado mundo

Cuando Mayer, analizó el efecto del movimiento sobre la temperatura, empezó a conjeturar que el trabajo se convertía en calor y viceversa. La apariencia de que en el cambio calor en trabajo y trabajo en calor, precisamente por la interconversión, parecía indicar que era improbable que se perdiera uno u otro. Analizó el caso que tenía a mano que era la caldera del buque en el que había embarcado. Irradiaba calor en todas direcciones, incluido el escape a través de la chimenea del buque. Pero concluyó que la pérdida acontecía de forma aparente, dado que se debía a motivos de tipo práctico en relación con la caldera. Había una parte del calor que no se empleaba en incrementar la presión en el generador y calentaba el aire circundante que, a su vez, transmitía calor a los cuerpos en derredor suyo y los materiales se dilataban por el calentamiento. Era otra forma de transformar el calor en movimiento, en trabajo.

Mayer conjeturó la conversión del trabajo en calor.

Hasta Mayer, el calor se había considerado como una materia, pero Mayer concluyó que era una "fuerza", es decir, una manifestación de la energía ancestral. Calor equivalía a trabajo y trabajo a calor. En la Naturaleza no se desperdiciaba nada. Los experimentos confirmaron la hipótesis. Mayer no tenía preparación ni en Física ni en Matemáticas. Intuía, tan sólo, la transcendencia de su idea. No sabía si había inventado o descubierto algo. No tenía resultados concretos. Hizo un viaje a Batavia en barco y a su regreso le parecía evidente que luz y calor, inercia y movimiento, magne-

Calor equivalía a trabajo y trabajo a calor. En la Naturaleza no se desperdiciaba nada.

tismo y electricidad, incluso integración y desintegración química, solamente eran manifestaciones de una misma y única energía ancestral y que no era posible que un proceso natural generara o hiciera nacer o desaparecer partes de dicha energía. Había que demostrarlo.

De nada, nada surge y nada de lo que existe se convierte en nada.

"De nada, nada surge" y "nada de lo que existe se convierte en nada" era la conclusión de aquella premisa. Escribió un informe de seis páginas y lo envió a publicar a Berlín a la revista de Ciencias Exactas. Pese a que su ignorancia matemática le llevó a estudiar a toda prisa con un amigo, acabó calculando con una tabla de multiplicar, con la que determinó el equivalente mecánico del calor. Una caloría era la cantidad de calor necesaria para calentar 1.000 gramos de agua desde cero a un grado. Mayer demostró que precisaba 425 kilográmetros de "fuerza" para obtener una caloría. Es decir, había que levantar 425 kilogramos a una altura de 1 metro para elevar mediante trabajo la temperatura de un litro de agua de 0°C a 1°C.

Las fuerzas son causas, con lo que causa es igual a efecto, como axioma.

Los colegas de profesión de Mayer pensaban que sus reflexiones eran más propias de la Filosofía que de la Física. Tras una amplia consulta, concluyó que las realidades no se explicaban con palabras apasionadas, sino con otras realidades. Apeló a la lógica. Se decía, las fuerzas son causas, con lo que causa igual a efecto, como axioma. Si la causa A tiene el efecto B, entonces $A=B$. Si B es la causa de otro efecto, entonces $A=B=C$. Pero de este modo, ninguno de los factores podía ser cero. Esta cualidad de todas las causas la denominó indestructibilidad. Acabada la redacción en estos términos, la

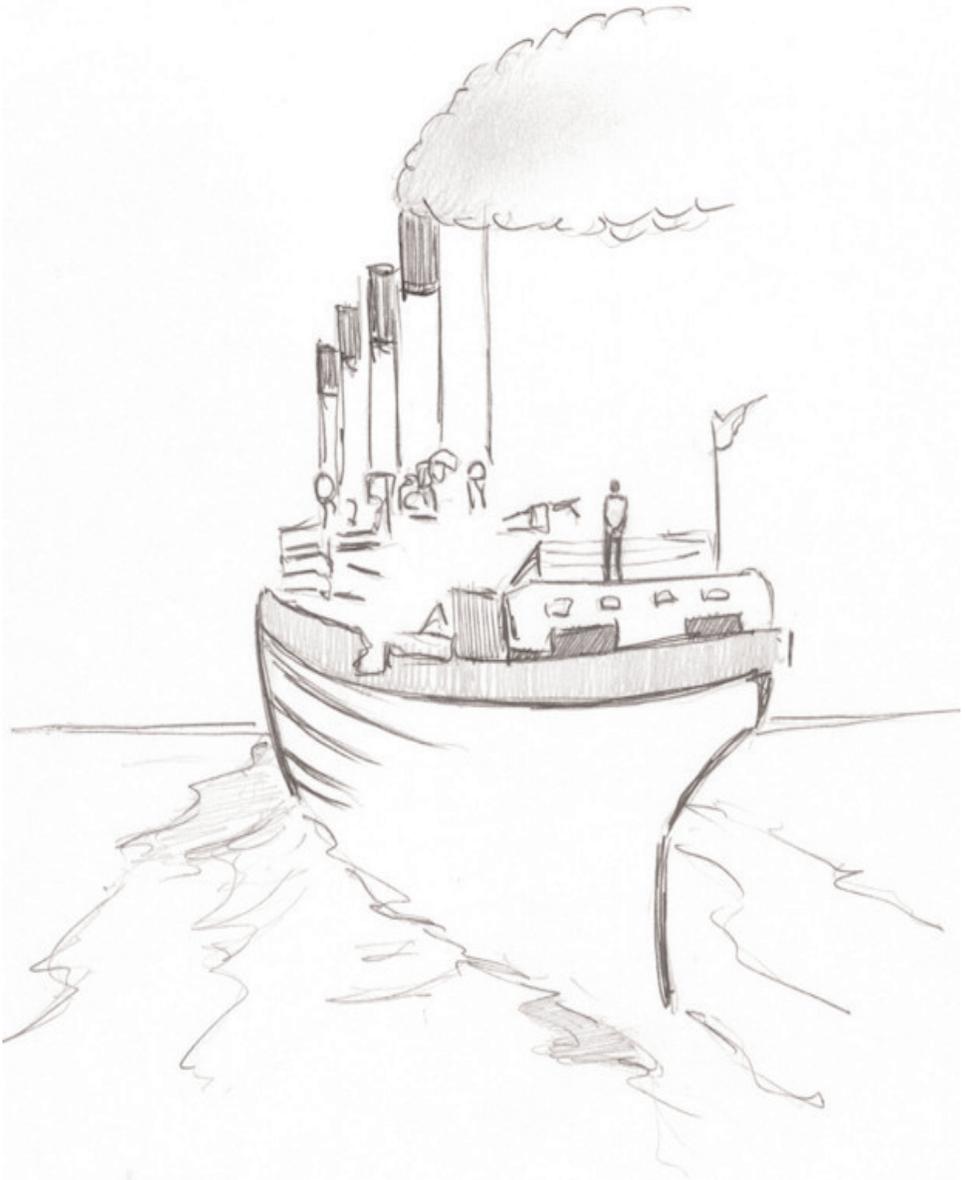
envió al profesor Liebig y fue publicado en el anuario Liebig de Química y Farmacia en 1842.

Siemens, originario de una familia modesta, amante de la técnica, optó por la formación que impartía el cuerpo prusiano de ingenieros, que era gratuita a costa del Estado, aunque tuvo que cambiar a Artillería por el tiempo que implicaría el ingreso en aquella, dado el número demasiado elevado de candidatos. Su carácter indómito para fijar sus objetivos en todo aquello que producía dinero, le hizo deambular por muchas profesiones, incluida la de pirotécnico, contratado para celebrar un aniversario de la Emperatriz de Rusia. Su hermano colocaba sus inventos en Inglaterra. Vio una máquina que no funcionaba a vapor, sino por aire caliente, cuando leyó la revista de "Liebig" y leyó una frase de Mayer, "*una sola cifra tiene más valor cierto y duradero que una costosa biblioteca de hipótesis*". Ya no más inventos. A estudiar.

Según pronosticaba Mayer, "una sola cifra tiene más valor cierto y duradero que una costosa biblioteca de hipótesis".

Schenzinger propuso que "*El mundo no es, se hace. No es una realidad, sino un proceso*". Lo vemos hasta donde alcanzan nuestros órganos sensoriales. Irresistible es el afán de conocerlo. La Ciencia, la Filosofía, la Religión. ¿Cuándo empezó el ciclo del mundo? ¿Cuándo terminará? Nunca, puesto que la provisión de energía del Universo es inmutable, cada fenómeno de la Naturaleza es tan sólo una mutación de energía y nunca una producción o una destrucción de la misma. Así lo ordena la ley de conservación de la energía.

Schenzinger propuso, a su vez, que "el mundo no es, se hace. No es una realidad, sino un proceso".



4/17/20

Universo holográfico

El límite de la información que cabe en una región del espacio, depende de la materia y la energía que contiene. Resulta sorprendente que podamos llegar a estimarlo sin conocer con certeza los componentes de la propia materia, que hoy concibe la teoría de supercuerdas como entes fundamentales a quarks y electrones generados por excitaciones de aquéllas. La clave de esta audaz propuesta descansa en la entropía que Boltzmann, que en 1877 la caracterizó como el número de estados microscópicos diferentes en los que podemos conformar el sistema de partículas que constituyen una entidad material, compatibles con su configuración macroscópica. La fórmula es $S=k \log(N)$, siendo S la entropía, k la denominada constante de Boltzmann y N el número de estados posibles. Curiosamente, Shannon, cuantificó la información contenida en un mensaje proponiendo una expresión muy similar a la de Boltzmann. En realidad, eran equivalentes, ya que el número de configuraciones que considera Boltzmann es equivalente a la cantidad de información que se precisaría para formar esa configuración macroscópica.

Hawking, demostró que al fusionarse dos agujeros negros (soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein), no decrecía el área de los horizontes de sucesos. Al añadir la emisión de radiación (denominada de Hawking) se pudo determinar la constante de proporcionalidad de la entropía del agujero negro, que era una cuarta parte del área del horizonte de suce-

El límite de la información que ocupa una región del espacio, depende de la materia y la energía que contiene.

La clave de la propuesta proviene la entropía de Boltzmann.

Hawking demostró que al fusionarse dos agujeros negros, no decrecía el área de los horizontes de sucesos.

Hawking demostró que el área del horizonte total de los agujeros negros crece con el tiempo.

Importancia que alcanza el horizonte que propuso Hawking.

En un agujero negro la entropía es proporcional al área y no al volumen de su interior.

La vía holográfica de la gravedad.

Se evidenció que el área del horizonte total de los agujeros negros crece con el tiempo. Las soluciones independientes del tiempo no describen la emisión de radiación, ya que en esa referencia la energía se conserva, pero como Hawking estaba convencido de que sí lo hacían, ideó la necesidad de que hubiera un equilibrio, como si se tratara de un gas a temperatura finita. El horizonte es un límite que está definido como si fueran geodésicas. Alcanzado por un rayo de luz, no puede escapar. De alguna forma, esto supone que la entropía está escrita en el horizonte de sucesos y cada bit (0 o 1) corresponde a 4 áreas de Planck ($10^{(-56)}$ centímetros). Como hemos dicho, la entropía es proporcional al logaritmo del número de microestados, que son las distintas formas en las que un sistema se puede configurar microscópicamente, mientras que se mantiene inalterada la descripción macroscópica. La entropía de un agujero negro es tremendamente intrigante, ya que establece que el logaritmo del número de estados de un agujero negro es proporcional al área del horizonte de sucesos y no al volumen de su interior.

El principio holográfico es una propiedad de la teoría de cuerdas que supone que la gravedad cuántica establece una descripción del volumen del espacio que puede concebirse como codificado sobre una frontera o límite de la región. Gerard 't Hoff interpretó la teoría de cuerdas de Susskind, combinando las proposiciones previas del propio 't Hoff y las de Thorn, que en 1978 observó que la teoría de cuerdas admitía una descripción de baja dimensionalidad en la que emergía la gravedad y que es lo que ahora se denomina vía

holográfica. Básicamente, establece que el Universo puede verse como una información bidimensional en un horizonte cosmológico, de forma que las tres dimensiones que observamos son una descripción efectiva solamente a escala macroscópica y a bajas energías. La holografía cosmológica no ha sido formulada matemáticamente de forma precisa, en parte debido al hecho de que el horizonte de partículas tiene un área no nula que se incrementa con el tiempo.

Puede interpretarse el Universo como una información bidimensional en un horizonte cosmológico.

El principio holográfico está inspirado en la Termodinámica de agujeros negros que propone una entropía máxima en cualquier región y que se escala con el cuadrado del radio y no con el cubo, como cabría esperarse. En el caso de un agujero negro, la clave fue que el contenido de información de todos los objetos que caen en su interior, podrían estar enteramente contenidos en las fluctuaciones de superficie del horizonte de sucesos. No obstante, existen soluciones clásicas de las ecuaciones de Einstein que permiten valores de entropía mayores que los permitidos por una ley cuadrática y, por tanto, mayores que la de un agujero negro, que son las denominadas bolsas de oro de Wheeler. Estas soluciones entran en conflicto con la interpretación holográfica y sus efectos todavía no se comprenden bien en un contexto de una Teoría cuántica de la Gravedad que incluya el principio holográfico.

El principio holográfico se inspira en la Termodinámica de agujeros negros.



A. Requena

Verdad, certeza y Gödel

Al conocimiento llegamos a través de la adquisición de información sobre elementos, relaciones, procesos e interacciones, de forma que podemos comprender para después interpretar y, finalmente, compartir con nuestros semejantes. Sujeto y objeto del conocimiento se relacionan de forma distinta según el ámbito en el que se trate, estando bien separados si se trata de Ciencias Naturales, mientras que sujeto y objeto coinciden en el caso de las llamadas Ciencias Sociales. Según la importancia relativa que demos a estos dos elementos conjugados, denominaremos conocimiento objetivo, caso de predominar las características del objeto y subjetivo cuando es el sujeto el determinante, a través de su percepción. En el primer caso, es posible un nivel más fino todavía y se puede pensar en la interobjetividad si se logra la independencia del sujeto implicado, aunque no decimos objetividad absoluta, por tratarse de aspectos científicos y no filosóficos, ni mucho menos, en modo alguno, si fueran teológicos. Seremos respetuosos, aún cuando no es demasiado frecuente encontrar un tratamiento equivalente de los otros ámbitos.

Es, justamente, al amparo del binomio objetivo/subjetivo que se suscita la calificación de verdad y certeza. Certeza y verdad son dos términos a menudo intercambiados, aunque no necesariamente son intercambiables. No siempre es posible hacerlo y, en muchas ocasiones, genera confusión. La certeza tiene que ver con la actitud de una persona hacia una proposición, enunciado o hecho, de forma que

Al conocimiento se llega adquiriendo información.

Conocimiento objetivo y subjetivo.

Certeza y verdad no necesariamente son intercambiables.

La certeza es una actitud personal.

La verdad es una propiedad objetiva.

El avance del conocimiento desplaza la referencia de la objetividad.

La Cuántica incluye una matización sobre la verdad, al introducir la incertidumbre

No es posible pensar que se conoce algo de cuya verdad no estamos seguros.

no se duda sobre su contenido. La verdad, lejos de ser una característica asociada a una persona, es una propiedad objetiva. La certeza es un estado subjetivo, de forma que es el convencimiento el que impulsa el sentimiento que nos lleva a aceptar. Cuando hablamos de verdad, hay que traducir que nos movemos en el ámbito de los datos y hechos objetivos, suministrados por el objeto. La certeza es una convicción del sujeto, mientras que la verdad es un conocimiento objetivo y compartible, intersubjetivo.

Ahora bien, la noción de verdad es problemática. No se trata, solamente, de cómo se establece la objetividad, sino que el avance del conocimiento hace variar la referencia de la objetividad, al menos en su interpretación, que enmarca a la verdad, conforme se van desvelando incógnitas y el grado de conocimiento aumenta. Esto nos lleva a considerar si la verdad es una hipótesis o conjunto de ellas que no ha/n sido refutada/s. Pero si estos enunciados son válidos en un marco clásico, la Mecánica Cuántica introduce una matización con la incertidumbre, que incorpora extrañeza sobre que algo pueda ser, en última instancia, verdadero.

La Lógica atraviesa momentos de incertidumbre, como ha dejado patente Gödel, por si ya fuera poca la incidencia del Principio de incertidumbre de Heisemberg. Pero, en todo caso, no es posible pensar que se conoce algo de cuya verdad no estamos seguros. Lo primero que requiere el conocimiento es "verdad", adecuación entre el entendimiento y la cosa, de forma que lo que como sujetos afirmamos se corresponda con lo que las cosas son en realidad. Finalmente, requerimos, también, la

evidencia, que garantice de forma inequívoca la verdad que se instala en nuestra mente. Es de esta forma que la realidad objetiva se puede imponer en nuestro pensamiento. Por último, y como actitud o sentimiento implicados en la mente que asiente el contenido de un juicio, surge la certeza, siendo, pues, una actitud de la mente al aceptar un pensamiento, excluyendo cualquier temor a que sea falso o lo contrario. Un excelente ejemplo es la certeza de Newton sobre la ley de la gravitación que, al ser consecuencia de una demostración, era una certeza científica.

La certeza surge como una actitud de la mente, al aceptar un pensamiento.

Según Gödel, dos sistemas de axiomas pueden ser consistentes (no se sigue ninguna contradicción) y su suma no serlo. Si existe la verdad, alguno de los sistemas de axiomas contiene uno falso. Es por ello que, el que sea verdadero el sistema de axiomas es necesario, pero no suficiente para ser consistente. La verdad es una categoría superior a la demostrabilidad y la intuición nos permite ir más allá de las limitaciones de un sistema matemático formalizado. Penrose utilizó el argumento de Gödel para demostrar que la mente no funciona algorítmicamente

Según Gödel dos sistemas axiomáticos pueden ser consistentes y su suma no serlo.

Según Penrose la mente no funciona algorítmicamente.



TRAZO 6.17

Viajar a través por del tiempo

No somos todavía capaces de construir una máquina del tiempo, pero es posible que la Naturaleza haya hecho ya alguna cosa que podemos aprovechar para ello. Los agujeros de gusano son una posibilidad. Si somos capaces de encontrar uno, podríamos desplazarnos haciendo uso del mismo. De momento son experimentos mentales, basados en conceptos científicos sólidos, pero está por demostrar que sea posible para los objetos reales.

Los agujeros de gusano.

De siempre ha sido un anhelo de la humanidad el construir una máquina del tiempo. Hoy día, el colisionador de hadrones puede tener la respuesta. Somos capaces de percibir 3+1 dimensión, tres espaciales y una temporal, como introduce la teoría de la relatividad. Si hay más dimensiones están ocultas a nuestra percepción. Las teorías de cuerdas requieren once o más coordenadas para describir el universo. Si exploramos esas otras dimensiones, una nueva Física nos permitiría aproximarnos a la barrera de la velocidad de la luz o superarla. Ésta puede ser la mejor forma para viajar en el tiempo. El Colisionador de Hadrones acelera protones en una circunferencia de 27 km hasta casi la velocidad de la luz. Imaginemos que podría acontecer con una circunferencia de 1000 años luz. Richard Obousy estudia velocidades mayores de la luz y describe una onda que se desplazaría como un surfista sobre una ola, cuando se eleva detrás de él y lo impulsa por el océano. La estructura del espacio y la nave tiran unos de

Percibimos tres dimensiones más el tiempo.

Obousy describe el desplazamiento como si fuera un surfista sobre una ola.

Alcanzar el impulso por deformación es complicado.

Se podría aprovechar la energía oscura.

otros. El espacio se expandiría a voluntad, se expande por detrás de la nave y se contrae por delante. De esta forma, viajaría sin violentar la limitación de la velocidad de la luz de Einstein. Alcubierre elaboró la matemática que la describe, aunque otra cosa es construirla, cuando una nave tiene que verse desplazada mediante un impulso por deformación. Una civilización avanzada, podría viajar a través del tiempo con estos presupuestos.

Los viajes a través del tiempo requieren estrategias para concretar el impulso por deformación, entre otras cuestiones. No es nada fácil viajar sobre burbujas del espacio como si se tratara de surf sobre las olas. Alcanzar el impulso por deformación es complicado. No hay más que ver a los surfistas novatos. El mar es quien manipula, mucho más que el surfista. El control es un problema real. Una nave impulsada por deformación tiene una desconexión causal con la burbuja, no puede controlarla. Si se controlara, con nuevas leyes podría introducirse una nave que se desplazara sobre una onda, como si se tratara de un tren de alta velocidad para ir a las estrellas. La energía que usaría es muy superior a la imaginable, quizás la emitida por una estrella. Tenemos que convenir que no hay ingeniería para lograrlo.

Que el Universo se expande es una evidencia. Se atribuye a una denominada energía oscura. Precisamente, esta energía se puede aprovechar para las naves o viajes a través del tiempo. No sabemos qué es ni cómo aprovecharla. O bien es una propiedad del espacio y no se puede aprovechar o es una densidad que es difícil de manejar. Muchos científicos descartan el impulso por deformación, la

máquina del tiempo o los agujeros de gusanos. Es posible que sea un error o se base en un error. Hay leyes de la Física que no se pueden violar, pero la tecnología puede, ya que estas son las leyes de la Física que permiten imaginar, pero es posible que lleguemos a otros esquemas, muy diferentes de los que hoy son usuales.

Puede haber planetas en un sistema binario, que se pueden aprovechar. No es concebible que se pueda orbitar entre los dos, haciendo un ocho, dado que sería una trayectoria inestable y saldría despedido. Alfa Centauro, es el sistema estelar más cercano del sol, a tan solo 4,37 años luz de distancia y considerada desde la antigüedad como una única estrella, la más brillante de la constelación de Centauro, que se observa como superposición de las dos estrellas brillantes de un sistema de tres y el sistema alberga también a un planeta que es el exoplaneta más cercano a la Tierra. Es posible que haya planetas orbitando las dos estrellas del sistema binario. Están tan lejos de la estrella que parecen una sola, pero es un sistema binario. Alfa Centauro A y B, orbitan cada una alrededor de la otra. Cada una tiene una zona habitable, al igual que ocurre con el Sol. Sería posible viajar allí en el tiempo de una vida humana. Es la Estrella más cercana y es posible viajar a ella. Con la Física que hoy conocemos precisamos que 4 años luz se recorran en 45 días. Será, probablemente, el primer destino de una nave para iniciar y examinar los viajes en el tiempo. No conocemos la tecnología. Si vamos al 99.99% de la velocidad de la luz, con menos de dos meses a esa velocidad, llegaríamos. Eso sí, sujetos a una brutal aceleración. Para no perder tiempo precioso, James Cameron la elige

Podría ser concebible utilizar planetas en un sistema binario para utilizarlos de lanzadera.

James Cameron eligió a Alfa Centauro como si fuera la luna de su avatar.

como una especie de pandora, como si fuera la luna de su avatar. Alfa Centauro B es la mejor estrella para encontrar planetas de masa relativamente pequeña. Con un telescopio es complicado verlos, ya que ver un planeta del tamaño de la Tierra es imposible. Habría que estudiarla por la variación, increíblemente pequeña, de unos 8.4 centímetros a 6.9 millones de kilómetros de distancia. Descubrir un planeta orbitando a una de las estrellas de Alfa Centauro, sin duda impulsaría los viajes en el tiempo.

A una velocidad próxima a la de la luz, el tiempo se ralentiza.

El tiempo se ralentiza al tratarse de una máquina del tiempo (velocidad prácticamente de la luz). El impulso gravitatorio de Alfa Centauro A, nos podría acercar a la B. Con un viaje de algunos meses, a una velocidad muy alta, se ralentiza los relojes y en la Tierra solamente ha pasado una década. Es posible que viajar en el tiempo sea rutinario en el viaje del hombre por el Universo en el futuro. No es descabellado pensar en un desarrollo de tecnología para avanzar diez mil años hacia el futuro, cumpliendo solamente un año durante el viaje. Otra cosa es la energía que consumiríamos. En realidad hoy, en cualquier misión espacial, es preciso tener en cuenta las distorsiones del tiempo, aunque los efectos sean demasiado pequeños para que tengan incidencia en términos humanos o a lo largo de una vida humana. Pero esas minúsculas fracciones de segundo si tienen importancia si se trata de viajar en una nave espacial a través del sistema Solar.



TRAZO 6.18

Vita aquae

La inquietud por el vino no es nueva. Hace milenios formaba parte de la mágica concepción de la realidad. Fue una herramienta religiosa que catapultaba a los individuos a cotas que la razón no les permitía alcanzar. La creación artística siempre lo tuvo como aliado, alumbrando sutiles realizaciones en las que incorporaban emotivas escenas y sugerentes escenarios. Cuando la Humanidad se incorpora al siglo de las luces, en que irrumpe el raciocinio sistemático, el vino se entrega, irremediablemente, a la Ciencia y se inicia su estudio y el descubrimiento de sus intimidades.

La inquietud por el vino no es nueva.

Griegos y romanos ya destilaban, pero las mejoras fueron constantes en el tiempo. A Zósimo de Panópolis, primer alquimista documentalmente reconocido, se le atribuye un papiro del siglo III, encontrado en Egipto que contiene la receta más antigua de cerveza, elaborada a partir de panes de cebada poco cocidos que se dejaban fermentar en agua y una vez fríos se introducían, hechos trozos, en jarras con agua azucarada, se agregaba levadura y cuando finalizaba la fermentación, se llevaba a una cuba, se diluía y tamizaba varias veces y el líquido final se guardaba en cuevas frescas. El descubrimiento de Zósimo es tan reciente como que fue en 1995, cuando aparecieron unos textos traducidos al árabe. En el Codex Parisinus 2327 hay un esquema del equipo de destilación de Zósimo. En el caso del vino, buscaba el ansiado espíritu del vino,

Descubrimiento del trabajo de Zósimo de Panópolis

en la creencia de su decidida incidencia en el arte alquimista en la eterna búsqueda de la perfección, que también transformaría el vil metal en oro.

Geber describe en el siglo VIII el hallazgo del agua fuerte y el agua regia. El aqua vitae disolvía la razón

Aportación sustancial de Berthelot.

A comienzos del siglo XII parece que todos aprendieron a destilar.

En el siglo VIII, Geber describe el hallazgo del agua fuerte, capaz de disolver la plata y el agua regia que disolvía el oro. Finalmente el aqua vitae que disolvía la razón. La preparación del alcohol aparece en el siglo XII en un texto denominado Mappae clavícula, que era una colección de recetas que se inició en el siglo VII y se fue engrosando a lo largo de la Edad Media. Una receta datada en el siglo XII dice textualmente: " *...de commixtione puri et fortissimi **xkok** cum III **qbsuf** **tbmkt** cocta negotii vosis fit aqua quae accensa flamam incombustam servat materiam*". Fue Berthelot en su texto publicado en 1893, quien interpretó esta enigmática frase, al percatarse de que en las tres palabras en negrita había que cambiar cada letra por la que le precede en el alfabeto latino, para convertirse en skok (vini=vino), qbsuf (parte) y tbmkt (salis), con lo que la traducción queda de este modo: "*Al mezclar un vino muy fuerte y puro con tres partes de sal, calentando la mezcla en un recipiente adecuado para ello, el agua que se obtiene arde sin consumir el material (sobre el que se ha vertido)*". Funcionó perfectamente.

A comienzos del siglo XII, parece que todos aprendieron a destilar, desde Europa hasta China. Aunque la idea original se atribuye a al-Razi, ya que relata cómo obtiene una sustancia intoxicante y la identifica como un producto diferente. Pero, ciertamente, obtener el etanol tuvo que esperar al invento de nuevos recipientes, el refrigerador para condensarlo en la destilación, pero sobre todo, obtener y

emplear sales para extraer el agua de la mezcla final alcohol-agua. En el contexto alquimista las sales se agregaban bajo la noción alquímica musulmana de combinar una esencia húmeda con una seca. Los árabes, que tenían prohibida la ingesta expresamente por el profeta, buscaron afanosamente el espíritu del vino. Lo cierto es, que en este caso, la alquimia práctica funcionó, con lo que absorbían el agua de la mezcla alcohol-agua y el alcohol obtenido (absoluto) ardía, al aplicarle una llama.

Los árabes, buscaron afanosamente el espíritu del vino.

El alcohol era un líquido mágico (aqua vitae) : curaba heridas, eliminaba la suciedad que el agua no podía y mil cosas externas más, disolviendo sustancias orgánicas, con lo que se inició la extracción de aceites esenciales de las plantas, con Avicena a la cabeza, extrayendo la esencia de rosas. Pero internamente aliviaba el dolor y levantaba el ánimo.

El alcohol era como un líquido mágico: aqua vitae.

Arnaldo de Vilanova, el médico más brillante de la cristiandad latina, que estudió Medicina en la Universidad de Montpellier, de la que luego fue profesor, y que se asentó en Valencia, procedente, quizás de Vilanova de Jiloca, cerca de Daroca, introdujo en el siglo XIII el alcohol como agente medicinal y escribió un tratado sobre los vinos artificiales y farmacéuticos, entre ellos, el aguardiente y el alcohol o espíritu del vino, que lo conoció a través de los árabes de la península. Tuvo relación con la Alquimia siendo joven y posteriormente abominó de ella. Se le atribuye a él la introducción en la Cristiandad del alcohol como agente medicinal y como precursor del destilado de licores espirituosos. Fue descubridor de la destilación fraccionada. Impulsó la terapéutica con minerales y el uso de las

Arnaldo de Vilanova introdujo el alcohol como agente medicinal en el siglo XIII.

Arnaldo de Villanova escribió una estrofa muy próxima a otra del Gaudeamus Igitur.

esencias de plantas y ya señaló el efecto venenoso del monóxido de carbono. Habla de los efectos terapéuticos de las mezclas de vino y oro y escribió un tratado sobre el aqua vitae que tituló: "*De conservanda juventute et retardanda senectute*", muy próxima a una de las estrofas del Gaudeamus Igitur, himno universitario por excelencia, pero que pocos han leído la letra completa, cosa que recomiendo, pero en español, entendiendo lo que se dice.

Pasteur calificó al vino como "la más saludable e higiénica de las bebidas".

En el siglo XVI el alcohol es un destilado de amplia aceptación, tanto para los alquimistas en su búsqueda del oro, como entre los químicos y médicos, que suponían efectos sanadores no solo sobre el cuerpo, sino que alcanzaba al espíritu. Pero, hay que esperar hasta el siglo XIX para que Pasteur, químico y microbiólogo francés que estudió la fermentación y las transformaciones inducidas por bacterias como las del ácido láctico y acético, que se revelarían básicas para el desarrollo de la industria vinícola y la actual enología. Pasteur calificaba al vino de "*la más saludable e higiénica de las bebidas*". Antecesores en el estudio del vino los tenemos en Lavoisier y Gay-Lussac, que contribuyeron a que un zumo de frutas convertido en mosto, lograra, mediante la fermentación, convertirse en una espectacular bebida, asociada a la "vida".



H. H. H.

TRAZO 6.19

Y... sólo son veinte

Ya parece que prácticamente todo el mundo sabe que la información genética está contenida en el ADN. Esta molécula tan especial, denominada, con mucho argumento, molécula de la vida, consta de una larga secuencia de bases nitrogenadas. Pero estas moléculas, denominadas bases nitrogenadas, son solamente cuatro, a saber: adenina, timina, guanina y citosina. Casi todo, prácticamente todo, lo que ocurre en el cuerpo depende de las proteínas, que son largas cadenas de aminoácidos. El 20% del cuerpo humano está constituido por proteínas. Gran parte de nuestras células, músculos y tejidos están compuestos por aminoácidos, que le dan a la célula su estructura, pero que también son los responsables del transporte y almacenamiento de nutrientes, influyen en las funciones de los órganos, glándulas, etc.

La cuestión es que, aún siendo los aminoácidos tan importantes para nuestro cuerpo, para la vida, solamente hay veinte distintos. ¡Solo hay 20 aminoácidos! Como solamente hay 4 tipos de bases, una cuestión clave, en la década de los cincuenta del siglo pasado, fue cómo se podrían secuenciar con solo 4 unidades (clases, bases) para obtener 20 tipos de compuestos (los aminoácidos). Si cada una de las bases concretara un aminoácido, solamente podríamos tener 4 aminoácidos. Si unimos dos bases para especificar un aminoácido, serían posibles $4^2 = 16$ aminoácidos (es el mismo problema que la quiniela: combinación con repetición de tres elementos (1,X,2)

El ADN consta de una larga secuencia de bases nitrogenadas.

Aún siendo los aminoácidos tan importantes para la vida, solamente son veinte distintos.

Se requieren, al menos, 3 bases consecutivas para codificar los 20 aminoácidos.

Hipótesis propuesta por Crick, Griffith y Orgel, "código sin coma".

tomados de 15 en 15, es decir 3^{15}). No calcule, que no encontrará quien le quiera financiar, además de que es más caro que el premio que pudiera obtener). 16 es menor que veinte, luego precisamos reunir al menos 3 bases consecutivas, para cubrir las 20 combinaciones de los 20 aminoácidos. Pero $4^3 = 64$ supera a 20 en muchas combinaciones. Sobran muchas. Si cada aminoácido se especificaba con 3 bases (codon es la denominación de los genetistas) la maquinaria que sintetizaba las proteínas debería conocer donde empezaba y terminaba cada codon. En la duplicación del ADN, la hebra de ácidos nucleicos que actúa como modelo (referencia) contiene una larga cadena de bases, pero no están agrupadas, ni hay una marca que las delimite. No cabe duda de que la maquinaria de la replicación comienza en un punto concreto y acaba en otro punto concreto, pero entre estos puntos, ¿el avance es de tres bases cada vez añadiendo el apropiado aminoácido en cada paso? o, ¿por el contrario hay ciertos grupos de aminoácidos que sirven de separación? Fue en 1957, cuando Crick, Griffith y Orgel formularon una hipótesis muy elegante que pretendía resolver ambos problemas y la denominaron código sin coma o código libre de coma, entendiendo la coma como signo de puntuación, o sea separación.

La idea es simple e ingeniosa. Con 64 posibles tripletes, solo requerimos una minoría (20) para especificar aminoácidos. Las restantes podrían "no tener sentido". Pero ¿es posible elegir un grupo de tripletes de bases significativos, de tal forma que cuando se sitúan en cualquier lugar, desde el principio al final, en cualquier posición, no solapen entre

ellos dando lugar a grupos de tres bases que tengan significado? Supongamos que los tripletes 123, 456, 789 y así sucesivamente designan aminoácidos concretos. Si están ordenados del modo supuesto: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 ... requerimos que otra identificación alternativa, como los tripletes 234, 567, 8910, etc, así como 345, 678, 91011, etc. que son otras agrupaciones posibles de tripletes de los aminoácidos numerados, sean tripletes sin sentido. Si pudiera lograrse no se alteraría el proceso si en cada paso el amino ácido "malo" se vuelve a poner en el sitio en que estaba y, además, cualquier fallo de lectura de un triplete no tendría sentido. Teóricamente es posible tener una disposición como la anterior.

Se puede conjeturar sobre el significado de las secuencias de los tripletes de bases

En diciembre de 1959 Hoagland publicó en Scientific American un artículo sobre la síntesis de proteínas y explicó cómo las cuatro unidades que componen el ADN y el ARN determinan el orden de las 20 unidades en la proteína y citaba la ingeniosa solución al problema que dieron Crick y col. anteriormente, pero Hoagland no sembró ninguna duda sobre el código sin coma que habían propuesto aquellos. De este modo, todo el mundo debió tener la impresión de que la propuesta de Crick y col. pudo ser sensata. Pero fueron sus propios promotores los que reconocieron lo inapropiado de su propuesta. La cuestión de cómo solo 20 de los 64 posibles códigos triplete son los que conforman aminoácidos, se superpuso con lo que resultó que muchos aminoácidos estaban codificados por más de un triplete. Por tanto, parece que, sin ninguna otra separación (puntuación) que la del comienzo y la de final, la maquinaria productora de proteínas es capaz de moverse fiablemente sobre los ácidos nucleicos, reconociendo cada triplete

En diciembre de 1959, Hoagland explicó cómo las cuatro bases determinan el orden de las 20 unidades en la proteína.

Se da que varias triadas codifican el mismo aminoácido.

de bases sucesivo como una instrucción a añadir a un aminoácido particular para hacer crecer la cadena de polipéptidos.

Las explicaciones más atractivas no necesariamente son las más probables.

Vemos que, una vez más no siempre las teorías elegantes y los experimentos espléndidos, capaces de seducir, precisamente por lo atractivo de su formulación, resultan ser ciertas. Las explicaciones más atractivas no tienen por qué ser las más probables, como resalta Glynn, atribuyendo la reflexión al filósofo Peter Lipton. Es posible afirmar, en cambio, que suelen ser indiciarias, al menos.



Zenón cuántico

El efecto Zenón, hace referencia a la famosa paradoja del filósofo griego Zenón de Elea que vivió en el siglo V a. C. Hay varias formulaciones, pero todas, en suma, hacen referencia al movimiento imposible. Hay una versión moderna, llamémosla versión canina, que se formula de esta forma: para alcanzar la pared más lejana de una habitación, en la que espera una recompensa, un perro necesita: primero recorrer la mitad de la anchura de la habitación, en lo que emplea un tiempo finito; después, necesita cruzar la mitad de la distancia que todavía le queda, que le ocupa otro tiempo finito y entonces todavía queda la mitad de la distancia restante... y así sucesivamente. Se divide la distancia de la habitación en un número infinito de etapas, para cada una de las cuales se precisa un tiempo finito para recorrerla. Si se considera un número infinito de etapas, como cada una de las cuales supone un tiempo finito para completarla, la cantidad total de tiempo para cruzar la habitación es infinito. De esta forma se concluye que es imposible para un perro recorrer todo el camino que le separa de saborear la recompensa.

Hay muchas formulaciones de la paradoja de Zenón de Elea

Felizmente, para perros hambrientos de cualquier parte del mundo, hay una solución matemática a la aparente paradoja: conforme la distancia se va haciendo más pequeña, el tiempo requerido para recorrerla es también menor. Si se invierte un segundo en cruzar la mitad de la anchura de la habitación, en medio segundo recorreremos el siguiente cuarto y un cuarto de segundo más tardaremos para recorrer el siguiente octavo y así sucesivamente,

Hay solución matemática para la famosa paradoja

Se puede sumar una serie geométrica decreciente.

es decir una serie geométrica decreciente. Si sumamos estos tiempos: $1 \text{ s} + \frac{1}{2} \text{ s} + \frac{1}{4} \text{ s} + \frac{1}{8} \text{ s} + \dots = 2 \text{ s}$. El tiempo total es la suma de infinitos términos pero cada vez menores conforme avanzamos. Los matemáticos aprendieron a sumar estas series de números cuando inventaron el cálculo en los siglos XVII y XVIII. Las sumas infinitas, en este caso, dan un resultado finito: el perro cruzará la habitación en dos segundos. El movimiento es posible y el perro siempre logrará su recompensa.

El efecto Zenón cuántico.

Se ha propuesto una formulación del efecto Zenón cuántico, usando la naturaleza de la medida cuántica (como si se tratara de un átomo), cuando se mueve de un estado a otro y se hacen repetidas medidas. Si medimos los átomos a un tiempo muy corto tras iniciar la transición, lo más probable es que lo encontremos en el estado inicial. El acto de medir en ese instante un átomo, lo proyecta al estado inicial y la transición se iniciaría después. Si mantenemos la medida del estado del átomo lo mantendremos donde estaba al inicio. El átomo está en una especie de paradoja de Zenón, en la que recorrería un número infinito de etapas hacia el final, pero nunca lograría completarlo, semejante a que estuviera en un pozo cuántico. Pero esto es muy distinto a lo que ocurre según la Física Clásica, ya que si medimos el estado de un objeto clásico no alteramos su estado. El efecto Zenón cuántico solamente emerge de la naturaleza de la medida cuántica.

En 1990 se realizó un experimento con iones berilio.

En 1990 se llevó a cabo un experimento de este tipo dirigido por Wayne Itano, usando iones berilio, que son átomos a los que se le ha quitado un electrón y, como los átomos tienen una colección de estados de energía per-

mitidos, que se pueden ocupar absorbiendo o emitiendo luz (energía). Cuando no se efectuó ninguna medida, los iones emplearon 256 milisegundos en completar la transición del estado 1 al estado 2. Su estado durante el proceso fue descrito por una función de onda que tenía dos partes: correspondiente a la probabilidad de encontrar el átomo en el estado 1 y correspondiente a la probabilidad de encontrar el átomo en el estado 2. Al comienzo del experimento, los átomos estaban al 100% en el estado 1 y al final del experimento estaban al 100% en el estado 2. En medio, la probabilidad del estado 2 había ido creciendo, mientras que la probabilidad del estado 1 había ido decreciendo. Los experimentadores habían medido el estado de los iones usando una radiación láser de frecuencia ultravioleta, elegida de forma que un ión del estado 1 la absorbería, mientras que los iones del estado 2 no lo harían. Los iones del estado 2 no producen luz (emisión) cuando se les ilumina con láser. La cantidad total de luz que incidía, por tanto, era una medida directa del número de iones del estado 1. Para demostrar el efecto Zenón, partieron de una gran cantidad de iones en el estado 1. Aplicaron microondas, como radiación para que se movieran suavemente de unos estados de rotación vibración a otros y esperaron 256 milisegundos y aplicaron un pulso de luz láser. Ninguno de los iones produjo ninguna luz, indicando que el 100% se había movido al estado 2, como se esperaba. Repitieron el experimento con dos pulsos de láser: uno tras 128 ms, que es la mitad de tiempo entre el tránsito del estado 1 al 2, y el otro tras 256 ms. En este caso, vieron la mitad de la luz tras 256 ms, lo que indicaba que solamente el 50% de la muestra había efectuado la transición al estado 2. La

El experimento, bellísimo, empleó radiación láser para identificar el estado de los iones berilio y al medir el tiempo se identificó el proceso que razonablemente habían seguido

El efecto Zenón cuántico justifica la disminución de probabilidad del tránsito.

disminución de probabilidad se explica por el efecto Zenón cuántico, que se ejemplifica con el pulso láser a mitad de camino entre la medida del estado de los iones. Muchos de ellos se encuentran en el estado 1 y la medida destruye la parte del estado 2 de la función de onda. Esos átomos volvieron al 100% al estado 1, de forma que la transición volvía al estado inicial, con un incremento muy pequeño de la probabilidad del estado 2. Después de 128 ms, la probabilidad de encontrar los iones en el estado 2 solamente fue del 50%. La probabilidad de moverse del estado 1 al estado 2 disminuye con las siguientes medidas con cuatro pulsos sucesivos a 64, 128, 192 y 256 ms, y solamente efectúan el tránsito el 35% de los iones. Con ocho pulsos solamente efectúan la transición un 19%. Con un total de 64 pulsos láser, uno cada cuatro ms, solamente el 1% de los iones harán la transición. Todo ello de acuerdo con el efecto Zenón cuántico. Cuando se efectúa la medida, la función de onda se colapsa una vez que el fotón es absorbido.



ISBN 978-84-09-05111-3

