

# Pensándolo bien...

Lecturas

## Volumen II

Alberto Requena

Ilustraciones :

Marcos Amorós





# Pensándolo bien...

Lecturas

## Volumen II

Alberto Requena

Ilustraciones :  
Marcos Amorós





# Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen II

Alberto Requena



Academia de Ciencias de la  
Región de Murcia.  
Vicepresidente



Ilustraciones :

Marcos Amorós



Datos de Catalogación Bibliográfica

Pensándolo bien... Vol. II  
Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós

ISBN: 978-84-09-05110-6

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. II  
Lecturas

Alberto Requena, Marcos Amorós

ISBN (volumen II): 978-84-09-05110-6

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

Depósito Legal: MU 1198-2018

Editor: Alberto Requena

Diseño de Cubierta: Alberto Requena

Impreso por: Compobell, S.L.

IMPRESO EN ESPAÑA- PRINTED IN SPAIN

---

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

—Alberto Requena

# Agradecimientos

---

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

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



# Prólogo

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

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

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

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

*Otoño de 2018*



# Prefacio

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

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

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

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

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

*Otoño de 2018*

# Contenido breve

## VOLUMEN II

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

## OTROS VOLÚMENES

### VOLUMEN I

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

### VOLUMEN III

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

---

# Contenido

---

## TRAZADO 3

### Ciencia útil, 1

- Trazo 3.1 En gran medida vibraciones, 3.
- Trazo 3.2 Escultor del Universo, 7.
- Trazo 3.3 Evolución molecular, 13.
- Trazo 3.4 Experiencia y experimentos, 19.
- Trazo 3.5 Fatal ligereza, 23.
- Trazo 3.6 Filosofar, 27.
- Trazo 3.7 Fluidos supersónicos, 31.
- Trazo 3.8 Golpe mortal a una teoría, 41.
- Trazo 3.9 Guerra espacial, 47.
- Trazo 3.10 Hallazgo, no invento, 53.
- Trazo 3.11 Hierro en la sangre, 61.
- Trazo 3.12 Imagen muónica, 65.
- Trazo 3.13 Imagen viviente, 71.
- Trazo 3.14 Improvisación e incertidumbre, 75.
- Trazo 3.15 Interferencia consciente, 81.
- Trazo 3.16 Juicio al flogisto, 87.
- Trazo 3.17 La antimateria a examen, 93.
- Trazo 3.18 La Ciencia útil en sí misma, 99.
- Trazo 3.19 La civilización del agua, 105.
- Trazo 3.20 La envoltura de los fotones, 109.

---

TRAZADO 4

## La armonía de la Naturaleza, 117

- Trazo 4.1 La Historia nuclear del Universo, 119.
- Trazo 4.2 La magia de los números, 123.
- Trazo 4.3 La marca Ciencia, 127.
- Trazo 4.4 La Naturaleza ama la doble negación, 133.
- Trazo 4.5 La pregunta científica es cómo, 137.
- Trazo 4.6 Las mas connicitas, 143.
- Trazo 4.7 Las moléculas interfieren, 149.
- Trazo 4.8 Láser y fusión, 153.
- Trazo 4.9 Límites e incentivos para el conocimiento, 157.
- Trazo 4.10 Limpieza solar del agua, 161.
- Trazo 4.11 Lo esencial de nuestra existencia, 165.
- Trazo 4.12 Lo que cae del cielo, 169.
- Trazo 4.13 Luz, color y fotograma, 175.
- Trazo 4.14 Macro y micromundo, 181.
- Trazo 4.15 Máquinas inteligentes, 185.
- Trazo 4.16 Masa negativa, 193.
- Trazo 4.17 Memoria cuántica en fotones, 199.
- Trazo 4.18 Menos trabajo para Dios, 205.
- Trazo 4.19 Metabolómica y vegetales orgánicos, 209.
- Trazo 4.20 Moléculas ultrafrías, 213.
- Trazo 4.21 Moléculas y música, 219.
- Trazo 4.22 Muchos átomos y moléculas, 225.





## TRAZADO 3

### CIENCIA ÚTIL

- 3. Introducción. -1-
- 3.1. En gran medida, vibraciones. -3-
- 3.2. El escultor del Universo. -7-
- 3.3. Evolución molecular. -13 -
- 3.4. Experiencia y experimentos . -19-
- 3.5. Fatal ligereza. -23-
- 3.6. Filosofar. -27-
- 3.7. Flúidos supersónicos. -31-
- 3.8. Golpe mortal a una teoría. -41-
- 3.9. Guerra espacial. -47-
- 3.10. Hallazgo, no invento. -53-
- 3.11. Hierro en la sangre. -61-
- 3.12. Imagen muónica. -65-
- 3.13. Imagen viviente. -71-
- 3.14. Improvisación e incertidumbre. -75-
- 3.15. Interferencia consciente. -81-
- 3.16. Juicio al flogisto. -87-
- 3.17. La antimateria a examen. -93-
- 3.18. La Ciencia, útil en sí misma. -99-
- 3.19. La civilización del agua. -105-
- 3.20. La envoltura de los fotones. -109-

## TRAZADO 3

### Ciencia útil

Uno de los aspectos más debatidos en tiempo reciente es la cuestión relativa a la utilidad de la Ciencia. Ciertamente, la financiación de la Ciencia es una cuestión de alcance. Sin recursos es difícil conducir por los intrincados caminos del descubrimiento. Se requiere inteligencia para poder caminar por las rutas habituales en las que se dan las oportunidades para descubrir nuevas cosas. No todo es cuestión de disponer de recursos; así es y ha sido siempre. Algunas de las propuestas realizadas en tiempos arcanos y la precisión alcanzada, nos sorprende hoy día por las dificultades intrínsecas que había que sortear. Cualquier cálculo en tiempos pasados era una completa aventura, exigente de minuciosidad, cuidado extremo y atención máxima. Páginas y páginas de operaciones a mano, sin incurrir en errores era ciertamente milagroso.

*La Ciencia aborda los problemas que la Humanidad se plantea y requiere resolver.*

*La Ciencia proporciona nuevos conocimientos, siempre.*

*El conocimiento acumulado facilita abordar los problemas que se plantean.*

*Imaginación, inteligencia y recursos hacen posible resolver cuestiones de importancia.*

*Los grandes avances provienen de plantearse grandes problemas.*

Siempre han habido problemas y se han buscado soluciones. La Naturaleza nos ha guiado constantemente, desde la admiración de los seres humanos por su eficacia. Es difícil que algún aspecto científico no sea útil para la Humanidad. El descubrimiento aporta conocimiento, siempre. A veces ese conocimiento es de largo alcance y afecta hasta los cimientos de nuestra comprensión de la Naturaleza. Otras veces lo descubierto es más modesto. Pero siempre es útil porque proporciona nuevas perspectivas para conocer, pronosticar y poder aplicar lo que se descubre.

Resolver problemas es una de las misiones más nobles de la especie humana. Poder formular el problema parte de conocer lo suficiente como para esbozarlo cabalmente, requiere conocimiento acumulado. La utilidad de las propuestas científicas tiene que ver con la capacidad de dedicación de los que hacen la Ciencia, los científicos y del grado de convencimiento de los que financian los trabajos necesarios. Pero, además de todo este escenario, el avance de la Ciencia requiere impulsos fundamentales, en la base, en el subsuelo, donde todo se convulsiona cuando se logra dar con la clave. Pequeños avances, van situando en el punto conveniente para resolver grandes problemas. Mucha imaginación, inteligencia, pero no hay que desdeñar los recursos, que permiten abordar determinadas cuestiones con las garantías que exigen los problemas actuales. Así que, la Ciencia siempre ha sido y es útil.

## TRAZO 3.1

## En gran medida, vibraciones

El cuerpo humano resulta ser muy sensible a las vibraciones. Andando, corriendo o, simplemente, recibiendo pasivamente la vibración del aire que nos transmite un motor en marcha a cierta distancia de nosotros, suele incomodarnos. Ciertamente, estamos sometidos a movimientos vibratorios, casi constantemente, en especial cuando viajamos, cuando manejamos una herramienta o, en general, cuando trabajamos con una máquina. La incidencia resulta ser una escala de percepciones que se sitúa entre las ligeras molestias hasta la misma muerte. Todo depende de la frecuencia del movimiento, de su amplitud y de la duración de las vibraciones.

*Constantemente estamos sometidos a movimientos vibratorios.*

Hoy día disfrutamos de avances tecnológicos y sus antecedentes científicos que han desarrollado esfuerzo para mitigar las consecuencias y suavizar los efectos. Desde el diseño de vehículos hasta las propias herramientas, disponen hoy de elementos que amortiguan considerablemente los movimientos y los hacen más confortables y amigables para el uso humano. Un objeto que gira a una velocidad angular constante se mueve según unas ecuaciones que se pueden resumir en que la aceleración se opone a la dirección del desplazamiento y es proporcional a su módulo:  $a = -(2\pi v)^2 x$ , (siendo  $v$  la frecuencia caracterís-

*Hoy se mitigan los efectos de las vibraciones.*

*La ecuación es la misma que la que rige el movimiento de un peso sujeto a un muelle.*

*La realidad integra una combinación de vibraciones.*

*La mayor sensibilidad se sitúa entre 6-7 Hz.*

tica del movimiento y  $x$  el desplazamiento) que es la misma ecuación que rige el movimiento de un peso sujeto a un muelle o el péndulo oscilante.

Cuando se estudian los efectos sobre el cuerpo humano, se emplean plataformas que vibran a una determinada frecuencia, aunque es bien sabido que la realidad integra una combinación de oscilaciones, cada una con una frecuencia característica. En su forma más elemental, el cuerpo se modela como si se tratase de una sola masa que nos recuerda un émbolo en un fluido, que de esta forma emula el amortiguamiento al que está sometido. Un modelo más sofisticado tendría en cuenta los movimientos que ejecutan distintas partes del cuerpo: pies, piernas, caderas, tórax y abdomen. Columna, brazos, torso superior y cabeza, por ejemplo.

Todo indica que la mayor sensibilidad se da a las frecuencias de 6 - 7 Hz que provocan trastornos en los pulmones, corazón, intestinos y cerebro. Frecuencias por encima de 20 Hz se mitigan con acolchamientos. En vehículos como los tractores, las frecuencias que se soportan se sitúan entre 1 Hz y 7 Hz. Una frecuencia de tan sólo 1 Hz que provoque desplazamientos de 1 metro, ya somete a una aceleración máxima de 1 g. No obstante, la posición de la persona tiene mucha incidencia, por cuanto el hecho de doblar las piernas estando de pie o estar sentado, supone alterar las vibraciones que percibe el cuerpo. Es lo que se hace cuan-

do se va en bicicleta y se quiere reducir la incomodidad de las vibraciones que provoca el deteriorado o pedregoso camino.

Hasta frecuencias de unos 2 Hz el cuerpo se comporta como si se tratara de una masa sujeta al extremo de un muelle, con amortiguamiento. Pero por encima de 2 Hz las distintas partes del cuerpo describen movimientos relativos que complican el tratamiento del problema. Globalmente, el cuerpo humano tiene una resonancia a unos 6 Hz, aunque la masa abdominal la tiene en 3 Hz, la pelvis en 5 Hz, la cabeza en relación a los hombros en 20Hz y los ojos en unos 35 Hz. Las vibraciones llegan a ser alarmantes cuando provocan cambios fisiológicos en los sistemas orgánicos como el circulatorio o el nervioso, dado que se ven afectados tanto la visión como la coordinación y hasta el habla.

*Por encima de 2 Hz los movimientos de las distintas partes del cuerpo, se complican.*

*Las vibraciones son alarmantes cuando provocan cambios fisiológicos..*

Finalmente, hay que reparar en que las ondas que propagan las oscilaciones en los medios materiales, son las únicas entidades conocidas que gozan de la propiedad de la ubicuidad. Oímos una melodía a muchas distancias del foco emisor simultáneamente. La propagación en todas direcciones le dota de un singular comportamiento al inducir su efecto simultáneamente en infinidad de posiciones espaciales distintas, con repercusiones varias según las entidades receptoras. Los mecanismos de interacción onda-materia determinan el efecto, porque concretan la transmisión de la energía que transporta la onda. La más

*Las ondas son ubícuas.*

*La luz es una onda a caballo de la cual va la energía.*

popular de las concreciones de las ondas es la luz. Sobre ella cabalga una energía dispuesta a cederse o incrementarse de mutuo acuerdo con las entidades materiales con las que se relaciona. En gran medida somos vibraciones. Mientras se preserva la armonía, la existencia discurre por vías amables. Cuando se altera es cuando se desencadenan procesos que complican la existencia.



1/9/00

## El escultor del Universo

Los cúmulos cósmicos agrupan estrellas. Unas mil estrellas se observan en una noche oscura. Hay lugares en la galaxia que nos abrumarían de observarlas con detalle. Centésimas de años luz distan una estrella de otra. Los elementos de la vida se generan en las explosiones de las supernovas. La cuestión relevante es ¿por qué son importantes los cúmulos y por qué son claves para desentrañar el universo?.

*La importancia de los cúmulos.*

Un ejemplo de cúmulos son las Pléyades que están constituidas por más de mil estrellas aunque a simple vista, solo se ve un puñado. Son conocidas como las siete hermanas. Solo se ven seis y con vista aguda, ocho, nueve o diez. Pudo haber una en la antigüedad que brillara más. Pueden encerrar los secretos del universo y ser la clave para desentrañar. cómo nacen, viven y mueren las estrellas. Como los demás cúmulos, se encuentran cerca de la Tierra. Todo lo que sabemos de las estrellas, deriva de la luminosidad inherente. Con las estrellas del cúmulo parece como si estuvieran todas a la misma distancia, como los espectadores de un partido de fútbol visto desde un globo. Dos coches con faros que brillan por igual, cuando están a distancias diferentes, los más distanciados (cuadrado inverso) son menos brillantes. Pero, a veces, una luz que parece menos brillante, realmente lo es. Una linterna al lado de un faro es menos brillante, no porque esté más lejos. Las pléyades participan de todo: iguales distancias y diferentes distancias. Un cúmulo es como una instantánea en un momento dado. Las estrellas más grandes y brillantes resultan ser las más peligrosas.

*Las siete hermanas: las Pléyades.*

*Las estrellas más grandes son las más peligrosas.*

*Todas las estrellas nacen en los cúmulos.*

*Hay una estrella por cada cincuenta años luz cúbicos.*

*Las nebulosas son como los jardines del Cosmos.*

Valdría el dicho: "vive a tope, muere joven". A 80 años luz de la Tierra, la Osa Mayor, tiene cinco estrellas centrales, el gran "cucharón". Se movían juntas por el cielo. Aunque formen parte de la misma constelación, no tienen nada que ver unas con otras. En la Osa Mayor, las estrellas se formaron al mismo tiempo y se mueven juntas. ¿Por qué unas están más separadas que otras? Son los denominados cúmulos abiertos: formación libre, se forman en los brazos en espiral de una galaxia en espiral. Todas las estrellas nacen en los cúmulos, pero los brazos se van abriendo por el efecto de otras estrellas. La gravedad dispersa los cúmulos como cuando soplamos sobre un puñado de confeti. En los cúmulos siempre hay algunas estrellas que parecen más importantes. La densidad de estrellas se concreta en una por cada cincuenta años luz cúbicos. En un cúmulo pueden haber 500 estrellas en el mismo espacio. ¿Cómo sería el Sol cuando formaba parte de un cúmulo? En 500 años luz, la nebulosa de Orion, parece como un jardín de infancia. Hay un montón de estrellas y en el centro hay cuatro, formando el denominado trapecio y otras que flotan alrededor. Las del trapecio, las más brillantes, está formado por miles de estrellas que están en proceso de formación, pero el cúmulo impone una especie de control de natalidad en él, porque sólo una parte pequeña de la nube se convierte en estrellas. Son pocas las que se forman a partir del gas, viento y radiación ultravioleta, y se mantienen dispersas.

Las nebulosas son como los jardines del Cosmos. No todos los cúmulos son iguales. Cuando hablamos de cúmulos estelares, el más grande es similar a observar una gran ciudad, con los sitios más conocidos y caracte-

rísticos. Si nos adentramos en el Cosmos a 1000 años luz, nos situamos en el record de 100.000 estrellas, que observamos con infrarrojos. Tiene estrellas supergigantes, del amarillo al rojo. Supergigantes azules, que se convierten luego en rojas según evolucionan. En medio se sitúan las amarillas. El Sol es diminuto comparado con las supergigantes, que son enormes comparadas con nuestro sol y éste también lo es con respecto a la Tierra. Aquellas acaban explotando como supernovas, con lo que se ven a grandes distancias. Pueden provocar deformación en el espacio y el tiempo perceptibles. Los detectores de ondas gravitacionales lo detectarán en el futuro. La Astronomía se configura en torno a las ondas gravitacionales.

*El Sol es diminuto en comparación con las estrellas supergigantes.*

Nuestro Sol irá evolucionando a gigante roja. Pero no llegará a alcanzar Júpiter ni explotará como una supernova. Las estrellas grandes viven solo 5-6 millones de años. Y explotan. Los cúmulos extremadamente masivos tendrían esa edad. Hace 10 años no se conocían. Hoy solamente conocemos una docena de cúmulos masivos. Un cúmulo quíntuple tiene hasta 5 de ellos. En 2006 se estudiaron desde las instalaciones astronómicas de Hawai. Dos de ellos están rodeadas por espirales. Hay varias estrellas envueltas, colisionando y son poco comunes. No tardarán mucho en explotar como supernovas, destruyendo sus planetas. El cúmulo Arcus es uno de los más destacados próximos a nuestra Galaxia. Situado a unos 25.000 años luz. Aquí se ha visto el tamaño que puede alcanzar una estrella. La Naturaleza ha puesto límite al tamaño de las estrellas en unas 130-140 veces la masa solar.

*El Sol evolucionará a supergigante roja*

*La Naturaleza limita el tamaño.*

*Los cúmulos globulares son tan viejos como nuestra Galaxia.*

Los cúmulos globulares llegan a tener un millón de estrellas. Retienen las más viejas de la galaxia. La edad los hace fascinantes. Son tan viejos como el propio Universo. ¿Cuál es la edad de la galaxia? 13.700 millones de años y los cúmulos globulares tienen sobre 13.000 millones de años, luego son del tiempo de nuestra Galaxia, situando su origen en los mil primeros millones de años. Es un misterio cómo se formaron. Deben tener algo que ver con la formación de la Galaxia. Se formaron más o menos al mismo tiempo que la Galaxia.

*Los cúmulos globulares se sitúan en la envoltura de las Galaxia.*

El halo galáctico es una envoltura de nuestra galaxia donde "viven" los cúmulos globulares. Hay 160 conocidos. Pero, pudo haber más, fuera de la influencia del disco galáctico. Hay un cúmulo fuera del halo que ha perdido el 80% de las estrellas, cuando se formó M12. No orbita fuera, sino que pasó por en medio y la interacción fue tan fuerte que arrastró a estrellas del interior del cúmulo. Con el tiempo, la Vía Láctea lo devorara por completo. Son como los planetas para una estrella o lunas para un planeta.

*La gravedad es como el escultor del Universo.*

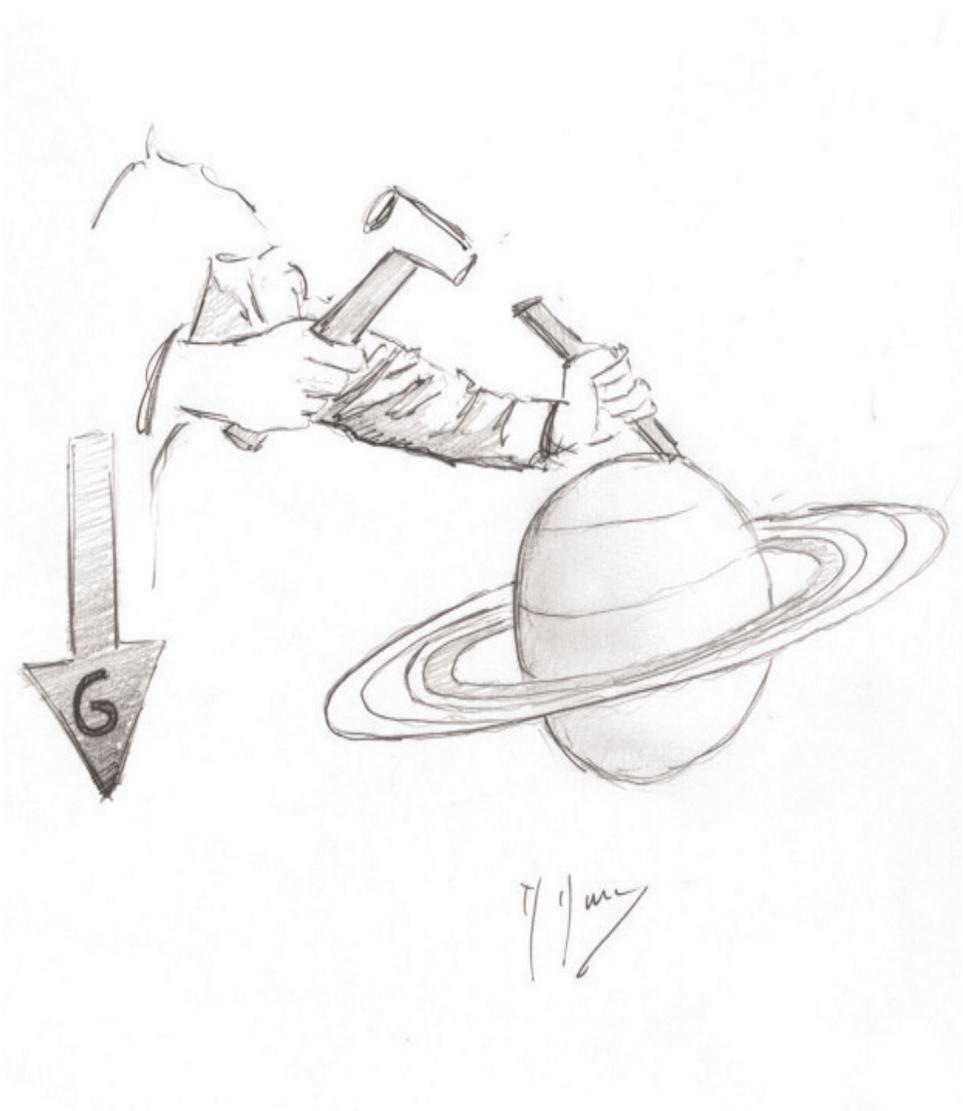
El M87 está en el centro de un cúmulo de galaxias. La gravedad es como el escultor del universo. Provoca que las galaxias se agrupen a escala de millones de años luz. El proceso comenzó en nuestro patio astronómico. El cúmulo en que se encuentra nuestra Galaxia es el Grupo Local. En los próximos 4000 - 5000 millones de años nuestra Galaxia se unirá a Andromeda. A partir de dos espirales se originará una elíptica. Ya existen algunas de ellas. Es la gravedad la que opera.

¿Por qué hay galaxias en las que las estrellas forman cúmulos y otras no? La clave es el

gas. Si un cúmulo le quita el gas a otro, al privarle del gas no podrá formar mas estrellas. Hay muchas preguntas todavía sin respuesta. Teóricamente encierran muchos problemas sin resolver. Planea el problema de los  $n$  cuerpos. Se requieren cálculos de mucha entidad para describir las leyes de la gravedad que hacen que se muevan en el espacio. Se requieren 300 años de superordenador para describir lo que ocurre en un solo segundo. Los problemas reales son de millones de cuerpos. El Universo es complejo. Los conceptos, relativamente simples. Se llegan a comprender. Eso pensamos. Otra cosa es describirlo. Ahí, en los detalles radica el conocimiento profundo. De momento fuera del alcance. El talento no se compadece con la arrogancia, sobre todo cuando admiramos, con estupor, el tallado del Universo del que formamos parte.

*La clave es el gas.*

*Se precisan 300 años de superordenador para describir lo que acontece en un segundo..*



## Evolución molecular

La generación de amino ácidos en el medio interestelar es un área de investigación muy importante en relación con la evolución química y el origen de la vida. Las reacciones ión-molécula y radical-molécula, que se han propuesto como posibles mecanismos de reacción que pueden acontecer en condiciones de ultra-frío y alto vacío propios del medio interestelar, permiten que tengan lugar reacciones que no presentan barreras de energía que superar y, de esta forma, pueden tener lugar reacciones químicas entre iones tan simples como  $\text{H}_2^+$  y  $\text{H}_3^+$ . Más recientemente, a finales de la década de los noventa, se han propuesto y estudiado reacciones entre moléculas y radicales neutros. En cambio no se han abordado las reacciones molécula neutra - molécula de capa cerrada, porque requieren energía de activación de, al menos, 10 kilojulios por mol. Las moléculas, incluyendo las más conocidas, tienen muchos "falsos" isómeros que mantienen sus formas inestables en condiciones de ultra frío y alto vacío mientras no colisionan con otras partículas, siempre que se generen mediante un mecanismo tal como una reacción de disociación y recombinación. Uno de estos casos es una de las moléculas más simples que existen, el acetonitrilo ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), que tiene, nada menos que 16 isómeros con estructuras electrónicas de capa cerrada, como propone Yang en 2005. La importancia de estas especies de capa cerrada en la evolución molecular no parece haber sido bien comprendida hasta ahora y este tipo de reacciones entre moléculas neutras y especies de capa cerrada no se

*Reacciones que ocurren en el medio interestelar.*

*Importancia de las moléculas de capa cerrada en la evolución molecular.*

han tenido en cuenta para el modelado químico de las nubes interestelares y pueden darse en las condiciones del medio interestelar.

*Reacciones cuyo camino no presenta barreras.*

Los cálculos mecanocuánticos de las superficies de potencial han permitido abordar el estudio de reacciones cuyo camino no presenta barreras, como ocurre en el caso de la glicina y moléculas análogas. Una molécula de iluro de amonio (eléctricamente neutra conteniendo un átomo con una carga formal negativa y un heteroátomo con carga formal positiva y los compuestos dipolares tipo 1,2, muy frecuentes en química orgánica tanto como reactivos como compuestos intermedios) que es un isómero de la metilamina con energía más elevada, se puede producir por asociación radiativa entre el amonio y el radical metilo, seguido de una disociación y recombinación. La glicina y sus análogos pueden generarse sin activación térmica, vía combinación del iluro de amonio y algunas moléculas simples como el dióxido de carbono. Pueden ser responsables de la evolución molecular y de la generación de amino ácidos en el espacio interestelar.

*La glicina y sus análogos pueden generarse sin activación.*

Los mecanismos de generación de aminoácidos tienen especial importancia en relación con el origen de la vida, aunque hasta el momento no se haya confirmado la observación del aminoácido más simple, la glicina, en el espacio interestelar. Bernstein y Holtom, en 2002 y 2005 estudiaron la fotólisis ultravioleta del hielo interestelar en el caso de las moléculas orgánicas extraterrestres que llegan a la Tierra mediante meteoritos o en el polvo interplanetario. Las reacciones en fase gas molécula-ion generando aminoácidos también se han investigado mediante fotólisis ultravioleta por Blagojevic. Son trabajos muy importantes por-

*Se han estudiado las reacciones en fase gaseosa molécula ión.*

que concluyen que los aminoácidos se pueden generar en las condiciones reinantes en el espacio interestelar.

Woon propuso en 2002 un mecanismo de reacción para generar glicina, vía barrera de recombinación entre los radicales  $\text{HOCO}$  y  $\text{CH}_2\text{NH}_2$ , como un posible proceso para generar la glicina en el medio interestelar. Holtom en 2005 dio a conocer unos experimentos de fotólisis ultravioleta acoplados con cálculos cuánticos que apoyaban la importancia de las reacciones de recombinación sin barreras en el hielo interestelar irradiado con luz ultravioleta. Pese a la energía de activación necesaria para producir ambos reactantes, los radicales  $\text{HOCO}$  y  $\text{CH}_2\text{NH}_2$ , la fotodisociación de los átomos de H calientes en hielo denso, puede sobrepasar la barrera de activación, generando los radicales  $\text{HOCO}$  y  $\text{CH}_2\text{NH}_2$ . Sin embargo, cuesta mucho efectuar un cálculo mecanocuántico sobre una reacción en total ausencia de barrera y con un camino de reacción que genere un aminoácido en circunstancias de ultra frío y alto vacío, a partir de especies interestelares solamente, debido a la dificultad de lograr superficies de energía potencial de sistemas poliatómicos, que implica conocer funciones multidimensionales altamente complicadas.

La superficie de potencial es la que permite tratar de responder a una cuestión fundamental y es cómo el amino ácido más simple, la glicina, puede generarse a partir de moléculas simples. Maeda y Ohno llevaron a cabo un estudio de las funciones de energía potencial mecanocuánticas y descubrieron dos canales de reacción que dan lugar a glicina a partir de  $\text{CO}_2$ ,

*La glicina se puede generar por recombinación de radicales.*

*La superficie de potencial es la clave.*

*Las reacciones molécula-molécula de capa cerrada pueden ser las responsables de la generación de aminoácidos en el medio interestelar.*

$\text{NH}_3$  y  $\text{CH}_2$ , uno de las cuales, incluyendo la carboxilación de  $\text{CH}_2\text{NH}_3$ , carece totalmente de barrera. Los mecanismos de reacción que implican a  $\text{CH}_2\text{NH}_3$ , tienen mucha importancia en Astroquímica para generar glicina, glicina protonada, glicinol y glicinamida en el espacio interestelar. Las reacciones molécula-molécula de capa cerrada, que hasta hace bien poco no se consideraban de interés en el medio interestelar, pueden ser las responsables, tanto de la evolución molecular como de la generación de aminoácidos en ese medio, sobre la base de los cálculos químico cuánticos de las superficies de energía potencial.





## TRAZO 3.4

## Experiencia y experimentos

"Asi es si así os parece" es una pieza de teatro popular del dramaturgo italiano Pirandello, estrenada en 1917, en la que escenifica el morbo por el prójimo. Viene a ser una parábola sobre la verdad, en equilibrio entre la curiosidad y lo desconocido. Critica "la intromisión en la vida de los demás" y el "rechazo a lo diferente" . Es una obra inspirada en un cuento siciliano "La señora Frola y su yerno el señor Ponza" en la que se narra cómo la normalidad de la vida que lleva un nuevo funcionario y su familia, suscita curiosidad que pretende ser satisfecha de inmediato y a toda costa por los demás. Básicamente, Pirandello pone en evidencia lo peligroso que es el creerse en posesión de la verdad. El arte de su autor articula un discurso que contiene capas que se van descubriendo poco a poco para lograr conocer los secretos que encierra.

*Es peligroso creerse en posesión de la verdad.*

Viene a cuento la referencia, por cuanto la Ciencia se comporta, en gran medida, como la parábola señalada. Por rutilantes que parezcan los avances científicos, siempre han sido graduales. Ciertamente alguien es capaz de ver más allá que los demás, pero mientras el sustrato científico no ha preparado el escenario, rara vez se propone algo que de improviso cambia el escenario. La sustitución de paradigmas es gradual. Incluso en casos, es difícil atribuir la autoría del primer genitor o impulsor. Puede parecer que se da en un momento dado, aun cuando con anterioridad haya habido una aportación que estableciera, cual faro guía, por donde caminar para lograr establecer y afianzar un nuevo paradigma. El parabólico

*Los avances científicos siempre han sido graduales.*

"así es si así os parece" hace el resto y nos mantiene en una versión desenfocada de los acontecimientos.

*Se atribuye a Galileo el impulso del método experimental.*

Se suele referir a Galileo como el primer genitor del método experimental. En realidad, es razonable que su origen se sitúe en la propia experiencia del ser humano, a través del estilo de vida que proporciona conocimiento y que, por tanto, es fácil suponer que se da de forma espontánea. En realidad, Galileo reintrodujo el método inductivo experimental, característico de las ciencias naturales, básicas para la Humanidad, al tiempo que evidenció que ciertos conceptos aceptados en su día eran contradichos por las pruebas experimentales.

*Roger Bacon fue un adelantado del método experimental.*

Pero Roger Bacon, nada menos que en 1268, uno de los mayores pensadores de la Humanidad, ya fue un adelantado del método experimental. Era un monje franciscano, que aprendió de la denominada escuela sufi iluminista, que existe una diferencia entre el acopio de informaciones y el conocimiento de las cosas, gracias a la experiencia. En su obra *Opus maius*, escribió: "*Existen dos maneras de saber: una que deriva de la discusión y otra de la experiencia. La discusión origina conclusiones que nos sentimos impulsados a admitir, pero no causa certidumbre ni despeja dudas para que la mente descanse en la verdad, cosa que sólo la experiencia otorga*". Es una doctrina sufi que en occidente se denomina método científico de procedimiento inductivo, en el que se basa la ciencia Occidental. La cuestión es que, en lugar de que se aceptara la idea de que la experiencia es necesaria en todas las ramas del saber, la Ciencia Moderna solo tomó la parte en la que lo central es el experimento, en el que el experimentador debe situarse lo

más alejado posible del objeto de su experiencia.

Roger Bacon, no solamente puso en movimiento la Ciencia Moderna, como apunta Idries Shah, sino que, al mismo tiempo, transmitió una parte de la sabiduría en la que la Ciencia debió haberse basado. Es, en esta dirección que se ha creado una tradición parcial de la propuesta original de Roger Bacon, en la que se ha movido, de forma continua, el pensamiento científico. Justamente, pese a que el pensamiento científico hunda sus raíces en el pensamiento sufí, el deterioro de esa tradición ha impedido que el investigador científico aborde el saber científico por sí mismo, es decir por la experiencia, y no solo por el experimento. Todo experimento se realiza en el marco de la experiencia ya que, en el fondo, no es otra cosa que un conjunto de percepciones sofisticadas, pero no toda experiencia es un experimento. Así pues, Tanto Galileo, como mucho antes Roger Bacon son los que matizan la diferencia entre experiencia y experimento y eliminan la "experiencia" ingenua, como la que nos lleva a afirmar que es el Sol el que se mueve y no la Tierra. Es la Ciencia surgida con el Renacimiento la que distingue entre experiencia y experimento y dejan de ser sinónimos, al introducir la observación controlada y el uso de instrumentos para medir los fenómenos a través de la observación, limitando el término experimento a la observación regulada. "Así es, si así os parece" (Pirandello)

*Todo experimento se realiza en el marco de la experiencia. No toda experiencia es un experimento*



1/17/00

## Fatal ligereza

Si tomamos en la mano un puñado de tierra, habremos colectado unos 20 gramos de aluminio; cantidad suficiente para fabricar una cuchara. Aunque el aluminio no se encuentra en estado puro en la Naturaleza, sus compuestos constituyen una octava parte de la corteza terrestre. Es el tercer elemento más común en la Naturaleza. Acompaña al silicio en el basalto, a la arcilla que es silicato de aluminio hidratado y muchos otros compuestos. Aluminio y oxígeno en diferentes proporciones, junto a otros metales forman el rubí (óxido de aluminio con hierro y cromo que le dan el color rojizo característico), zafiro (una mezcla de óxidos de aluminio, hierro y titanio que le dan el color azul) y esmeralda (un silicato de aluminio y berilio, junto con cromo y vanadio que le dan el color verde). Su gran aportación es su livianidad ya que pesa menos de la mitad que el hierro.

*Los compuestos de aluminio constituyen la octava parte de la corteza terrestre.*

Deville era profesor de Química de la Escuela Normal de Paris y en sus investigaciones dio con la forma de obtener aluminio a partir de la arcilla. El Senador Dumas se lo relató a Napoleón III y éste, siempre a favor de cualquier cosa que pudiera ser extraordinaria, apoyó las investigaciones y le facilitó los recursos para pasar del laboratorio a la explotación industrial. Deville construyó hornos refractarios para sustituir las grandes vasijas que había utilizado Woehler para reducir el cloruro de aluminio con potasio. El procedimiento resultaba muy costoso y salía al mismo precio que tenía el oro. No fue ello óbice para que se iniciara un mercado en el que el aluminio servía como

*Deville dio con la fórmula para obtener aluminio a partir de arcilla.*

material para fabricar muchas otras cosas. En la exposición Universal de París de 1867 se exhibieron cadenas de reloj o petacas de aluminio. Sumamente costosos, solamente estaban al alcance de los muy ricos. Pero se puso de moda como material.

*Bunsen logró obtener aluminio por métodos electroquímicos.*

Habían pasado cuarenta años desde que Davy había fracasado en la obtención del aluminio, aunque fue quien le puso el nombre, pero fue Bunsen quien logró obtenerlo por procedimientos electroquímicos. Davy empleó pilas Volta pretendiendo efectuar la electrolisis del óxido de aluminio. Fracasó por insuficiente corriente. Bunsen utilizó una batería de pilas de carbón y cinc, que el mismo había inventado, empleando un compuesto de cloruro de sodio y aluminio que el mismo preparó. En el primer ensayo ya obtuvo bolitas de aluminio metálico. Fracasó para obtenerlo en grandes cantidades, aunque ya había logrado demostrar que la vía electroquímica para obtenerlo era factible.

*Deville descubrió la creolita.*

Deville siguió experimentando y perfeccionando y aferrado a su método. Aumentar el rendimiento y disminuir el costo eran sus objetivos permanentes. Un metal blanco, que no cambiaba, prácticamente, con la exposición al aire o con la fusión, maleable, tenaz y resistente y que bruñido era, prácticamente, un espejo. Prometía desplazar al cobre, al hierro, incluso a la plata, siempre que se disminuyera su coste. Posteriormente descubrió la creolita que procedía de Groenlandia. Seguía utilizando la fusión como proceso de obtención. Una vez que conoció el procedimiento de Bunsen, lo ensayó, aunque no logró avanzar prácticamente nada. Las fábricas abiertas en Inglaterra, Estados Unidos o Alemania, supu-

sieron que la demanda de creolita creció, considerablemente, con el consiguiente aumento del precio. Lo que conseguía mejorando la tecnología del procedimiento, lo perdía con el incremento del precio de la creolita.

De pronto apareció en el escenario la bauxita (mezcla de óxidos de aluminio hidratados). Era conocida ya, más de cincuenta años, compuesta un cincuenta por ciento de arcilla y el resto, óxido férrico y agua. Como había en Francia, no implicaba derechos de aduanas y resultaba económico, por tanto, para Deville. La producción aumentó y los precios bajaron. Pero llegó un momento en que dejó de bajar el precio. Ya no lo hizo más, por mucho esfuerzo que pusiera Deville. Toda su lucha desesperada resultó inútil. La mañana del primero de Julio de 1881 su cadáver fue recuperado de las aguas del Sena. El peso del trabajo que el mismo impuso, acabó por cobrarse su propia vida. ¡Fatal ligereza!

*Apareció en  
escena la bauxi-  
ta.*



T/Am -

## Filosofar

No siempre tiene el camino fácil en Ciencia, una idea innovadora. La sustitución de paradigmas no es automática. A veces cuesta abrirse paso y tomar empuje una idea que suponga una auténtica revolución, cambiando en profundidad nuestra concepción de la Naturaleza. El médico municipal de Heilbrom, Mayer, había concluido en que solamente hay una energía que se manifiesta de distintas formas y que es convertible de una en otra. Más todavía, había propuesto que la cantidad total de energía era una especie de dotación inicial, única y constante y lo único que podíamos hacer era transformar un tipo en otro, como lo hace la propia Naturaleza. Era una idea de alcance, que no encontraba forma de penetrar en los ámbitos científicos y era rechazada una vez tras otra en todas las revistas y Academias de Ciencias de Munich, Berlín, Bruselas, Paris y Londres, por ejemplo. Mayer estaba muy convencido de "su razón", que creía que solamente era cuestión de tiempo que se abriera paso a la verdad.

Mientras tanto, en Inglaterra, Joule, había aprovechado la tesis de Mayer. Joule andaba estudiando la ley de producción de calor eléctrico haciendo uso de la ley de Ohm. En un intento de fundamentar la teoría de Mayer construyó termómetros y galvanómetros muy sensibles. Lo logró, olvidando el nombre de Mayer. Tuvo éxito, hasta el punto de que el propio Helmholtz, en Berlín, se enfrascó en la comprobación matemática de los experimentos de Joule y no de las ideas de Mayer. El artículo en el que contaba sus conclusiones, titulado "*Acerca de la conservación de la energía*"

*La sucesión de paradigmas no es automática.*

*Mayer había concluido que solamente había una clase de energía.*

*Joule aprovechando la tesis de Mayer, logró fundamentarla, pero olvidándose del nombre de Mayer*

llegó a manos de Mayer. Solamente hablaba de Joule. La cuestión es que Mayer ni había efectuado cálculos, ni había realizado experimentos. Solamente había filosofado con ellos. Pero eran suyos los conceptos, él los había "parido". Mayer había terminado su monografía referente a la Dinámica del Universo, la había impreso, la había enviado a las editoriales y se la habían devuelto. Hacía ya medio año de todo esto y no logró ninguna resonancia.

*Mayer fue criticado cuando reclamó la autoría.*

Mayer sufrió la crítica despiadada cuando intentó reclamar su autoría. Fue tildado de loco, monomaniaco, hasta por jóvenes auxiliares y sus escritos no veían la luz en las revistas y periódicos de la época. Se le tildaba de tramposo y no se le admitía una justificación. Acabó, en sueños, lanzándose por la ventana en un arrebato asociado a un estado febril, consecuencia del acoso al que se veía sometido. Continuó defendiéndose de lo que juzgaba como embuste y arbitrariedad. Un clérigo próximo, en cierta ocasión discutió con él, en casa de éste último. Llegados a un punto, a un Mayer creyente y cumplidor, el clérigo le asestó un golpe definitivo al apelar a que la idea pudo proporcionársela el maligno. Decía el clérigo que, no entendiendo de aquello, si veía que la voz del pueblo era la voz de Dios. Y la gente decía que Mayer tenía delirios de grandeza. "*la fe y la verdad, nos sientan mejor que la Ciencia y la soberbia*", le asestó definitivamente, aconsejándole que visitara a un director de un manicomio, para que viera lo conveniente a hacer. Y así lo hizo. El director del manicomio le recetó reposo., una cura. Ingresó en un establecimiento para enfermos mentales y con la receta de descansar, con tratamiento y dieta del plan 32. Después de un periodo de

*Mayer ingresó en un establecimiento para enfermos mentales.*

reposo y en una conversación con el médico, ante un comentario de éste sobre que Mayer se situaba frente a todo el mundo intelectual, Mayer contestó que no era él "*sino su descubrimiento el que se oponía a los demás, precisamente por no haber sido realizado por aquellos señores que, en razón de su cargo, deberían haberlo hecho. Se le ocurre algo a uno o no. Eso no se compra y de ello no quieren darse cuenta los especialistas. En efecto yo no soy especialista. Ese es el punto culminante*". El médico le contestó: "*creí que usted se había repuesto*". Anotó en su diario con la fecha del día: "*Mayer, incremento patológico de la arrogancia*". Fue diagnosticado de enajenación maniaco-depresiva que acusaba incluso periodos de verdadera locura. Mayer logró exigir por vía judicial que le liberaran del manicomio. Volvió a ejercer la profesión médica.

*Mayer "incremento patológico de la arrogancia", según su médico.*

Años después, la Royal Society proclamó al mundo que Roberto Mayer era el autor de la ley de la conservación de la energía. Tarde, pero al menos se reconoció.

*Finalmente, la Royal Society proclamó su autoría.*



1/7

## Fluidos supersónicos

Son relevantes los avances logrados en el estudio de las reacciones elementales en fase gas cuando se trata de elevadas temperaturas ( $> 500$  K), condiciones relevantes en los procesos de combustión. Pero a bajas temperaturas, el progreso ha sido bastante más lento, pese a los importantes procesos implicados, como ocurre con las reacciones atmosféricas o astroquímicas y los aspectos teóricos sobre las constantes de velocidad de reacción. La razón hay que buscarla más que en las dificultades experimentales asociadas a las bajas temperaturas, en gran medida, en la creencia de que la dependencia de la constante de velocidad con la temperatura viene descrita por la ecuación de Arrhenius, tanto en su forma original como en cualquiera de sus formas modificadas. Una de las formas más populares es la representación del logaritmo de la constante de velocidad como una función de la inversa de la temperatura absoluta, que exhibirá una dependencia lineal, de cuya pendiente negativa se extrae la energía de activación de la reacción.

Si nos detenemos un poco en el examen de la velocidad de las reacciones químicas, la mayoría de las que tienen lugar entre moléculas estables, discurren lentamente a altas y muy bajas temperaturas, porque a los reactantes les falta la energía necesaria para superar esa energía de activación que actúa como barrera. Es como si hubiera que superar una barrera para poder iniciar el proceso, algo similar a un muro que hay que franquear para entrar a un recinto. Después, ya dentro, nos podremos mover a placer, pero de no superar la pared, no

*A bajas temperaturas el avance del conocimiento de las reacciones elementales ha sido lento.*

*A los reactantes les suele faltar energía para superar la barrera de activación.*

*La química de las nubes interestelares implica reacciones sin barrera.*

*Las reacciones entre moléculas neutras son importantes.*

podremos hacer nada. Se trata de mínimos para empezar a hablar, que diría el castizo. En moléculas neutras es comprensible. En la interpretación de la teoría de colisiones, dado que una reacción conlleva la ruptura y formación de enlaces, tendrán que llevar, las moléculas que participan en el choque, suficiente energía para lograr esa ruptura, si no, la reacción no podrá acontecer. Pero, en muchas reacciones en la que están implicados radicales libres, no es necesaria la existencia de estas barreras para que la reacción tenga lugar. Serán reacciones muy rápidas, incluso a temperatura ambiente y que mantienen la velocidad o incluso llegan a ser más rápidas conforme desciende la temperatura. Las atmósferas extraterrestres como la de Titan, alcanzan una temperatura entre 70 y 150 K y las nubes interestelares se sitúan entre 10 y 100 K. La Química de las frías nubes interestelares, que incluye zonas espaciales en la que se forman planetas o estrellas, se concreta en las reacciones ión - molécula, que no presentan barreras para que las moléculas ejerzan sus fuerzas atractivas. Pero es cierto que las reacciones entre moléculas neutras juegan un papel importante, también y merece la pena reflexionar sobre este tipo de reacciones.

Se han descrito muchas técnicas para estudiar las reacciones a baja y ultra baja temperatura. La cinética formal en primer o pseudo primer orden ha servido de marco empírico para tratarlas analizando un reactivo, el más estable, en exceso sobre el otro. Así, se aísla la reacción elemental estudiando otra pseudoreacción. Experimentalmente, se han desarrollado audaces técnicas para llevarlo a cabo, entre las que se encuentran los denominados "tubos de flujo" y "técnicas de velocidades relativas".

Pero conocer las constantes de velocidad absoluta de reacción a temperaturas por debajo de 200 K es complejo, dado que tienen lugar condensaciones sobre las paredes frías del reactor, con lo que, precisamente, mantener una concentración elevada de uno de los reactivos es un auténtico problema.

*Las condensaciones son un problema.*

Hay una técnica, "cinética de reacción en expansiones supersónicas uniformes" o "cinética en fluidos supersónicos uniformes". Así se han estudiado muchas reacciones entre moléculas neutras y se han caracterizado las constantes de velocidad, encontrando que, en casos, se mantienen muy rápidas o incluso incrementan la velocidad al caer la temperatura por debajo de 300 K hasta 6 K.

*Hay reacciones que incrementan la velocidad al disminuir la temperatura.*

Por otro lado, las reacciones entre iones y moléculas, además de considerar, en la mayoría de los casos, la captura gracias a los potenciales de largo alcance, dominados por interacciones electrostáticas, conlleva una estimación teórica muy poco fiable de la dependencia de la constante de velocidad con la temperatura global, incluso considerando distintos canales individuales de productos de reacción. Esto no suele darse en las reacciones entre moléculas neutras.

*Las reacciones entre iones y moléculas son muy distintas a las reacciones entre moléculas neutras.*

Como exponen Fournier y col al desarrollar la Química de Baja Temperatura, cuando se efectúa una representación de la energía potencial (energía interna almacenada) frente a la coordenada de reacción (progreso de la reacción), para reacciones bimoleculares exotérmicas, aparecen barreras, cuando necesariamente hay que romper enlaces químicos. Suele darse que la reacción lenta presenta una caída rápida, conforme cae la temperatura y se suele

*El efecto túnel incide de forma determinante.*

*Los cálculos ab initio de las superficies de energía potencial son muy importantes..*

describir una curva (en lugar de una recta) que es tanto más evidente conforme desciende la temperatura. Hay que recordar que el efecto túnel, que describe al sistema y su capacidad de atravesar la barrera con energías por debajo de la altura de la misma, inciden también en el resultado. Si ambos reactantes fueran radicales, como ocurre en un caso muy conocido de reacciones entre CN y O<sub>2</sub>, entonces no hay barrera en la curva de energía potencial, que presenta un pozo, porque los electrones desapareados de cada radical se combinan para formar el enlace químico. En este último caso, la velocidad de reacción es más rápida conforme disminuye la temperatura. Esto ocurre, además de en las reacciones entre radicales, cuando la reacción acontece entre un radical y una molécula neutra. La reacción entre CN y C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> para producir HCN y C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> es un caso bien característico: a temperaturas elevadas tiene energía de activación positiva, pero conforme disminuye la temperatura, la constante de velocidad pasa a través de un mínimo, incrementando hasta en un orden de magnitud al pasar de 200 K a 23 K. Es un comportamiento típico cuando se trata de un complejo débilmente enlazado que cruza la barrera de potencial para dar lugar a los productos. En el caso de las reacciones entre moléculas neutras, la dependencia de la temperatura cae a muy bajas temperaturas y está controlados por aspectos sutiles como la altura de la barrera, efectos entrópicos, cuando las barreras son pequeñas, etc. Este panorama pone en valor los cálculos mecanocuánticos ab initio de las superficies de energía potencia, así como los cálculos de scattering (dispersión) en dinámica cuántica u otros tratamientos teóricos, como los implicados en la teoría del estado de tran-

sición, que es la que se ha diseñado específicamente para proporcionar las constantes de velocidad de reacción.

Las células de enfriamiento criogénico han permitido bajar por debajo de 100 K. Han resultado especialmente útiles cuando los reactivos no son fácilmente congelables, como ocurre con el  $O_2$ . Los estudios de transferencia de energía mediante colisiones, como He e  $H_2$ , si se han podido llevar a cabo en estas condiciones. La técnica de enfriamiento colisional se ha empleado para estudiar la transferencia de energía rotacional por debajo de 5 K.

*El enfriamiento colisional se emplea en transferencia de energía rotacional por debajo de 5 K.*

En cambio, investigar experimentalmente cinéticas de reacción a muy baja temperatura cuando las especies condensan, solamente permite emplear un método de enfriamiento, que es el de expansión. Las expansiones jet libre y de haces moleculares se emplean profusamente en espectroscopía para preparar rotacionalmente una muestra fría de una molécula aislada para estudiar una reacción bimolecular fría, que está limitada a los casos que presentan una densidad muy baja y un gradiente de densidad elevado, que desencadena la pérdida del equilibrio termodinámico local, con lo que la distribución molecular no viene descrita por la distribución de Boltzmann de estados rotacionales y, además, requiere ausencia de colisiones en la expansión. La técnica de "cinética en fluidos supersónicos uniformes", propuesta inicialmente por Rowe y Marquette pretendía estudiar las reacciones ión-molécula usando la técnica de expansión que mantiene una termalización. La generación de las moléculas frías en fase gas se logra mediante una expansión desde un reservorio a

*Problema cuando las especies condensan: jets supersónicos.*

*Generación de moléculas frías mediante expansión.*

*La expansión adiabática a través de un orificio.*

alta presión, a través de un pequeño orificio (nozzle) que comunica con una cámara a baja presión. Esta técnica de expansión en jet libre permite lograr un gran enfriamiento, al dar lugar a haces de moléculas en las que las temperaturas tanto rotacional como de translación son del orden de 1 K o incluso menores. Así se ha podido estudiar espectroscópicamente la molécula dímero de He a una temperatura de 1 mili-K. Pero las cinéticas a muy baja temperatura están limitadas por gradientes de densidad altos y pérdidas de equilibrio termodinámico local, con distribuciones no Boltzmann y temperaturas traslacionales fuera del equilibrio, relacionadas con la muy baja velocidad de colisiones en tales haces. En suma, la expansión adiabática a través de un orificio (nozzle como el Laval) reduce la temperatura y la densidad del gas, mientras aumenta su velocidad. Finalmente, tras colimar el flujo, tiene lugar una propagación con trayectoria cilíndrica. Si la presión del gas en el interior del reservorio es demasiado elevada o demasiado baja aparecen en la expansión ondas de choque y al inducir compresiones locales cambian las propiedades del flujo y las condiciones físicas de los reactantes a estudiar.

*La analogía progreso en Ciencia con un cesto de cerezas.*

Es de resaltar el ingenio asociado al desarrollo de estas técnicas. Ciertamente la Ciencia, al final, progresa como si se tratara de un cesto de cerezas que al pretender obtener una de ellas, siempre en parejas, lo cual ya es simbólico, arrastra encadenadas a unas cuantas. Como si se tratara de un mensaje de complejidad en el que hay que aplicar un esfuerzo para aislarlas de otras vecinas. Un interrogante respondido, trae de la mano una cadena de otros a los que hay que encontrar respuesta. Es posible y fácil creer en la capacidad de curiosi-

dad humana, como inextricablemente insoslayable. Es muy difícil justificar y explicar por qué es así. Posiblemente, y habría que aceptarlo, no tiene respuesta, al menos por el momento. Tendremos que aceptarlo. Y los interrogantes nuevos, pretendemos que encuentren respuesta. Viene sucediendo desde tiempo tan inmemorial, como para que lo aceptemos como una flecha que nos conduce irremediabilmente. Eso sí, tratamos de encontrar respuesta.

Curiosamente, a mediados del siglo XIX, la estupidez humana, engreimiento científico, también, nos hizo creer que todo estaba sabido (el castizo, diría hoy, controlado) y resulta curiosa la escena que se nos narra en la que Laplace es inquirido por Napoleón cuando el primero enarbolaba los elementos del determinismo filosófico, acunados en la esfera de la Mecánica Newtoniana en cuya formulación cabía interpretar que un Super Ser (sin señalar a nadie) capaz de conocer las posiciones y velocidades de todas las partículas del Universo, haciendo uso de las ecuaciones de la Dinámica, podría predecir tanto el futuro como el pasado del Universo. Napoleón quiso saber de primera mano, donde encajaba a Dios Laplace, a lo que este segundo respondió que no contemplaba tal cosa, que en sus ecuaciones no precisaba introducir a Dios en ninguna parte (por cierto hace muy pocos años, Hawking enunció algo sumamente parecido). Ciertamente, desde la órbita científica, magia, religión, creencias, etc, figuran aparte de leyes de la Naturaleza y ya desde Pitágoras, estamos persuadidos de que no hace falta apelar ni a la magia, ni a los dioses del Olimpo, sino, por el contrario, descubrir las leyes que subyacen y rigen a la Naturaleza. Ardua tarea en la que

*Cíclicamente la Humanidad parece convenirse de que todo es sabido.*

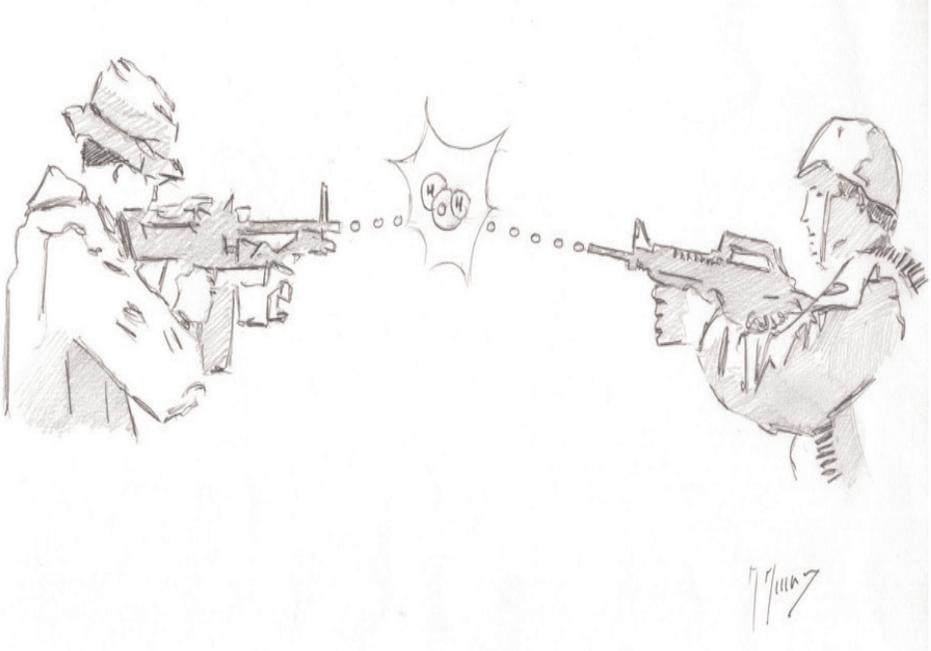
*No hace falta apelar a la magia o a los dioses del Olimpo, hay que descubrir las leyes de la Naturaleza.*

*La humildad de nuestro conocimiento baja los humos de nuestra autoestima.*

estamos inmersos desde hace mucho. Con éxito global y puntualmente importante, por cierto. Desde aquel momento y repetidas veces, algún científico y algún colectivo se han creído en posesión de la "teoría final". Siempre la realidad nos ha hecho darnos de bruces con un escenario que se revela, a la postre, incompleto. Una y otra vez sucede. E incluyen a Premios Nobel, también. Pero la humildad de nuestro conocimiento baja los humos de nuestra autoestima. Siempre queda algo importante, como ocurrió a finales del XIX, cuando se gestó la Cuántica. Y fuimos siempre capaces como colectivo, la Humanidad, de descubrir nuevos horizontes, establecer distintos escenarios. Es un juego de nunca acabar.

*Seguimos penetrando en el conocimiento.*

Avanzamos, una y otra vez, para impulsarnos de nuevo y avanzar más. Perfeccionamos métodos, logramos poner al descubierto matices capaces de revelarse decisivos. Y seguimos penetrando en el conocimiento. Las técnicas a las que aludimos hoy son un buen ejemplo de ello. Desde el mundo microscópico, el regido por la Cuántica, contraintuitiva donde las haya, manejamos, cada vez con mayor soltura, entornos más sofisticados. Siendo incapaces de percibir a nuestro nivel la totalidad del escenario microscópico, lo manejamos con sofisticadas técnicas que nos permiten ir desentrañando aspectos fundamentales que conforman nuestra visión e interpretación del mundo. Viene sucediendo así. Y por mucha imaginación que exhibamos, ¡no parece tener límites!





## TRAZO 3.8

## Golpe mortal a una teoría

Los conceptos en Ciencia no responden a ramas concretas, sino que se aplican, también, en otros campos distintos a aquel en el que originalmente surgieron. En realidad, es imposible dividir la Ciencia en ramas separadas y sin relación entre sí. En la descripción de los fenómenos relativos al calor, los conceptos fundamentales son los de temperatura y calor. Tuvo que transcurrir mucho tiempo para que se diferenciaron. En cambio, una vez que se logró, se progresó muy rápidamente.

*Costó mucho tiempo separar calor y temperatura.*

Nuestro tacto nos permite, sin duda, distinguir si un cuerpo está caliente o frío. Es un criterio cualitativo, pero insuficiente para describir cuantitativamente. Una experiencia sencilla lo evidencia: dispongamos tres recipientes con agua caliente, fría y tibia, respectivamente. Introducimos una mano en el caliente y otra en el frío y se percibirán calor y frío, en cada una de las manos. Si las sacamos y las introducimos en el agua tibia, en cada mano percibiremos la sensación contraria. Esta dificultad es la que salva el termómetro, propuesto por vez primera por Galileo. Se basa en suposiciones ciertas que formuló hace casi doscientos años, Black: "con el uso de este instrumento hemos aprendido que si se toman mil o más, diferentes clases de materia, como metales, piedras, sales y una variedad de otros fluidos, aunque estén todos inicialmente a diferentes "calores", colocados juntos en una misma habitación sin fuego y donde no entre el Sol, el calor pasará del más caliente de estos cuerpos al más frío, en el transcurso de unas horas o, tal vez de un día, al final del cual, si se les aplica, sucesiva-

*Distinguimos si un cuerpo está caliente o frío.*

*El termómetro fue propuesto por primera vez por Galileo.*

*LA temperatura es una medida de un principio físico.*

*Tener la misma temperatura no es tener el mismo calor.*

*Dos cuerpos a distinta temperatura, en contacto, alcanzan la misma temperatura..*

*mente un termómetro, indicará en todos ellos exactamente al mismo grado".* El término "calores" debería identificarse con la actual temperatura. Este mismo principio, es el que justifica que al tomar la temperatura a un enfermo, lo que indica el termómetro es la temperatura del enfermo. Aunque no se piense, es la medida de un principio físico.

Pero ¿tiene el termómetro la misma cantidad de calor que el cuerpo del enfermo? En modo alguno. Si tener la misma temperatura fuera tener el mismo calor, entonces diría Black: "... sería confundir la cantidad de calor de varios cuerpos con su concentración o intensidad respectiva..." Un ejemplo lo aclara bien: para hacer hervir un litro de agua se requiere aplicar una fuente de calor durante un tiempo. Para calentar 12 litros de agua se requerirá un tiempo mayor. Esto es indicativo de que se le transmite algo que llamamos calor. Si calentamos de la misma forma y en sendos recipientes un kilo de agua y uno de mercurio, el mercurio lo logra más rápidamente. Es decir, el mercurio necesita menos calor para aumentar su temperatura un cierto número de grados. Cada sustancia tiene una capacidad calorífica o calor específico característico.

Si tenemos dos cuerpos a temperaturas distintas y los ponemos en contacto, aislados de toda influencia exterior, alcanzan la misma temperatura. La cosa sucede fluyendo el calor de uno a otro, como si se tratara de agua que pasa entre un nivel superior y otro inferior. Es una imagen primitiva, pero permite poner en concordancia los efectos: cantidad de agua por cantidad de calor; nivel superior por temperatura más alta y nivel inferior por temperatura más baja. El flujo continúa hasta que los nive-

les (o las temperaturas) se igualan. Si se juntan agua y alcohol, con masas, temperaturas y calores específicos distintos, se puede calcular la temperatura final de la mezcla y viceversa, conociendo la temperatura final se puede determinar la relación entre los calores específicos.

El calor es similar a otros conceptos físicos. Es como una especie de sustancia, análoga a la materia en Mecánica. A esta sustancia se le denominó calórico y teoría del calórico a la que formula tal cosa. Su cantidad puede cambiar o no, como el dinero: ahorrando o gastando. El capital guardado en una caja fuerte se conservará sin variación. En un cuerpo aislado se conservan masa y calor. Un termo ideal es una caja fuerte. Del mismo modo que la masa de un sistema aislado se mantiene íntegra, aun cuando haya transformaciones químicas, el calor se conserva al pasar de un cuerpo a otro. El calor no es una sustancia como la masa que la determina una balanza. Por analogía, se puede pensar que un trozo de hierro pesa más si está caliente que si está frío. La experiencia demuestra que no. Si el calor es una sustancia, debe ser imponderable, sin peso.

El objeto de una teoría física es explicar el mayor número posible de fenómenos, haciéndolos inteligibles. El calor ni es sustancia ni es imponderable. Algunos hechos del principio de la civilización lo ponen de manifiesto. El carácter fundamental de una sustancia es que no se puede crear ni aniquilar. El hombre primitivo creó calor por frotamiento, suficiente para prender la madera. La fricción, es de sobra conocido que genera calor. En el marco de la teoría del calórico, solamente es posible obtener el calor por frotamiento suponiendo que se

*El calórico y la teoría del calórico.*

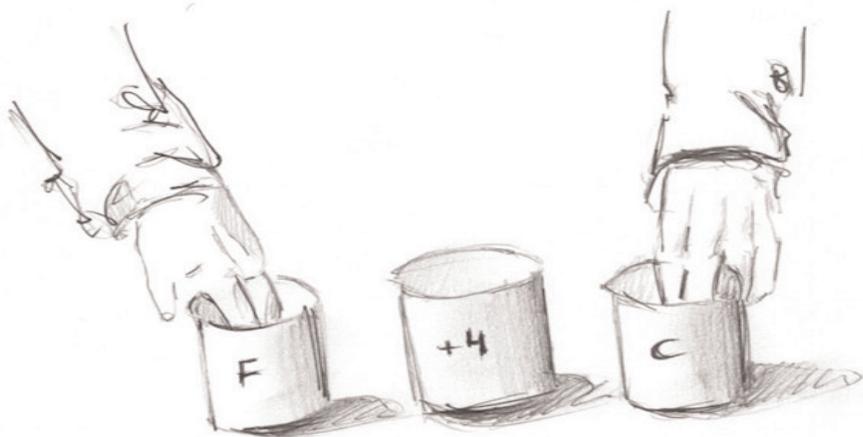
*El calor no es una sustancia como la masa.*

*El carácter fundamental de una sustancia es que ni se puede crear ni destruir.*

*La teoría del calórico confundía el calor con sustancia, Rumford, lo resolvió*

*Experimento crucial.*

modifican los calores específicos para elevar la temperatura manteniendo fijo el calor. Un experimento lo puede resolver. Tomamos dos piezas de madera idénticas y suponemos que elevamos su temperatura por métodos diversos, una mediante fricción y otra por contacto con un radiador. Si las dos piezas tienen el mismo calor específico a la nueva temperatura, la teoría del calórico cae por tierra. El calor específico en tal experimento se determinó hace casi doscientos años por Rumford en el arsenal militar de Munich examinando el comportamiento de los cañones de bronce y dando un golpe mortal a la teoría del calórico que confundía el calor con una sustancia. Cuando un experimento permite pronunciar un veredicto de vida o muerte de una teoría, se denomina experimento crucial. El carácter crucial se evidencia por la forma de plantear el problema, permitiendo explicarlo con una sola de las teorías puestas a prueba



17m



## Guerra espacial

El laser viaja a la velocidad de la luz. Las armas convencionales usan la energía cinética. El poder de destrucción se basa en eso. Cuanto mayor sea el peso, más energía cinética tiene el proyectil. La masa se multiplica por el cuadrado de la velocidad. Algo que viaja a doble velocidad, tiene una energía cuatro veces mayor. A mayor energía cinética mayor daño al impactar. Sólo con la aceleración de la gravedad se puede generar un efecto superior al de una bomba atómica.

*Las armas convencionales usan la energía cinética.*

Un arma para contrarrestar un láser puede ser una nave que se haga invisible. No está a nuestro alcance todavía, aunque ya hay ensayos bastantes convincentes. La primera guerra espacial que se puede dar, será con los satélites, incluyendo: comunicaciones, información geográfica, señales, además de las posiciones en Tierra que proporciona el GPS con mucha precisión. Vuelan a 27 000 km hora y a unos cientos de metros sobre la tierra. Alcanzar una pelota de tenis lanzada por otro jugador, con otra lanzada por nosotros, es difícil, pero si la nuestra fuera inteligente, corrigiendo la posición, tal como hace un misil, es más probable que lo logremos. Se estima que es preciso consumir 100 litros de combustible para poner un kilogramo en órbita. Por tanto, los materiales que se incorporan a los satélites son livianos. Pero cada vez más, dependemos de los satélites. Si los misiles llevan cabezas nucleares, con una gran explosión, son capaces de dejar fuera de juego a cualquiera de los satélites que circulan en la actualidad y que conforman esa tupida red ya imprescindible.

*Son precisos 100 litros de combustible para poner un kilogramo en órbita.*

*Al no haber atmósfera, la onda expansiva no se produciría.*

Se han concebido como armas para aniquilar objetivos como las bombas atómicas. Como en el espacio no hay atmósfera, en el caso de lanzar una contra un satélite, no se produciría ninguna nube en forma de hongo, como es usual. Sería como la explosión de una supernova: rayos gamma en todas direcciones y la onda expansiva no se produciría, al no haber atmósfera. Pero la radiación tiene mayor alcance que en la Tierra, dado que los rayos gamma ionizan a la atmósfera. Una de las últimas pruebas realizadas en 1965 en el aire, produjo un efecto perceptible desde Australia hasta Hawai. Tras una docena de pruebas, se clausuraron las explosiones y pruebas.

*Un coche acelerado al 10% de la velocidad de la luz puede destruir una ciudad.*

Una pistola dispara porque la pólvora lleva el oxidante que producirá la combustión. Pero en el espacio acabará atascándose por falta de lubricación de las partes de la pistola. Por otro lado, las armas se pueden montar sobre raíles, algo parecido al tren bala, impulsadas por imanes y que se aceleran hasta alcanzar casi la velocidad de la luz, por tanto, millones de km por hora. La energía cinética es tremenda. Un proyectil de 3 kilogramos a más de 8000 km por hora, produce un impacto 7 veces superior a si llevara la velocidad del sonido y eso produce mucho daño. Un coche acelerado al 10% de la velocidad de la luz es capaz de destruir una ciudad en el impacto. Se puede concebir un cohete montado sobre un raíl y aprovechar la gravedad para que aumente la aceleración. Los lanzamientos de piedras con catapultas Trebuchet, propias del siglo XII al XV, hasta la aparición de la pólvora, que lanzaban proyectiles hasta de 160 kilogramos contra las fortificaciones enemigas, ya lo hacían lanzando a lo más alto posible, de forma que se le daba

opción a la gravedad para que hiciera su papel.

Nada de todo ello compite con un láser. La velocidad a la que se desplaza es la de la luz. Son las armas favoritas de la ciencia ficción. Son linternas de alta tecnología. Todas las ondas están sincronizadas. La luz del sol es incoherente y las distintas ondas se destruyen y lo que vemos es lo que queda. Con un láser se pueden deshacer átomos, arrancar los electrones o romper los materiales. Su efecto es muy similar a los truenos y los rayos. Cuando no hay partículas de polvo no se ve el haz del laser. Utilizado como arma, no hay ninguna otra más rápida. Los cañones convencionales necesitan cargar balas. Un láser con suministro eléctrico, tan sólo, es suficiente, no tiene que cargar balas. Es continuo. Estados Unidos ya ha probado sistemas láser aéreos que disparan contra misiles. Sin atmósfera un avión da la vuelta instantáneamente para disparar. Con atmósfera, como aquí, los aviones tienen alas porque hay que levantar vuelo en base a la sustentación. Para girar, también. En ausencia de atmósfera se pueden dar movimientos bruscos, no lentamente como aquí. Surge un interrogante ¿a qué velocidad se deshacen, peligra, la identidad de los átomos humanos?. Los átomos son estables a cualquier velocidad, sus puntos de referencia se mantienen hasta unas 18 g, que provoca la descomposición de los elementos humanos, porque los pulmones se comprimen y los órganos internos comienzan a desgarrarse (16 g mantenida 1 minuto, puede resultar mortal). La gravedad y la aceleración son equivalentes. Si te mueves muy deprisa en el espacio tu cerebro puede matarte con la brusquedad.

*La radiación que emite el láser se desplaza a la velocidad de la luz.*

*En ausencia de atmósfera se pueden dar movimientos bruscos*

*El poder destructor del Universo es muy superior de lo que pueda crear el hombre.*

Sin atmosfera no hay reducción de la luz láser como ocurre en la atmósfera, dado que ésta está compuesta por moléculas, con las que colisiona. Ahora bien, se requiere mucha potencia para que el láser sea peligroso. Una pistola en la mano no tiene, ni puede tener potencia para generar un laser suficientemente potente, salvo en las películas de ciencia ficción. En el vacío del espacio, un agujero en el traje espacial es suficiente como para matarte. El poder destructivo natural del universo va mucho más allá que lo que pueda crear el hombre. Redirigir un asteroide para que impacte en Marte, eso es más destructivo. Algún día es posible que superemos el conflicto. Desde luego NO lo hemos hecho aquí y no es previsible que lo hagamos en el espacio. Armas ya hay, o pueden haberlas.



7/11/11



## Hallazgo, no invento

En tiempo pasado, pero no hace tanto, como a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, la preocupación de los químicos se centraba en cómo obtener sintéticamente lo que la Naturaleza proveía. La creencia era que se lograrían más cantidades, más baratas y en todo tiempo. Ferdinand Runge, nació cerca de Hamburgo en 1795 y desde edades tempranas experimentó con los efectos midriáticos (dilatación de la pupila) del extracto de la belladona. Mostró su descubrimiento a Goethe y éste le animó a que estudiara la cafeína. Murió en la pobreza, pese a una excitante vida dedicada a la investigación. La química de la purina, el descubrimiento de la cafeína, el tinte azul de la anilina y los productos del alquitrán de hulla, la cromatografía en papel, el pirrol, la quinoleína, el fenol, el timol y la atropina, figuran entre sus trabajos más destacados.

*Se inicia la pasión por la síntesis química: Runge.*

Se estaba en la creencia de que la Naturaleza era tan rica que cualquiera podía encontrar algo si se esforzaba en lograrlo. Se pensaba que el físico lo tenía más fácil, porque podía medir en el acto el valor práctico de cada descubrimiento. En química no se puede. En la época se trabajaba intensamente con el índigo (mediados del siglo XIX). De todos los fenómenos de la Naturaleza, cautivaba el color, como idioma más bello, delicado y penetrante de aquélla. Desde los colorantes minerales se pasó a los vegetales y apareció el índigo entre ellos, en la planta denominada añil. La Química no se dejaba calcular, pero exigía una especie de don de adivinación, acierto y fantasía.

*La medida del valor práctico de un conocimiento científico.*

*El índigo en la escena.*

*Paracelso abrió la ruta a los pensadores.*

Cuenta Schenzinger en un libro dedicado a la Anilina, que Runge acumulaba alquitrán de hulla, que lo recibía de la fábrica con el agua del gas, sin quererlo. Nadie sabía en qué se podía utilizar el alquitrán. La superficie de los contenedores era una especie de espejo negro como pez. Daba reparo mirar queriendo adivinar lo que albergaba en su interior. En aquellos días no se extrañaba que muchos genios se extraviaran en la ruta sin fin que creían que les conducía al "elixir de la vida", a "la piedra filosofal", al "oro artificial". La ilusión paralela por alcanzar la juventud perpetua, la omnipotencia o el logro de riquezas sin esfuerzo, ofuscaba muchos cerebros. Paracelso hizo la gran contribución al abrir dos caminos alternativos, uno de los cuales era el de los pensadores, los sabios, que requería trabajo duro hasta comprender lo que acontecía, cómo tenía lugar.

*Runge pretendía desentrañar los secretos que encerraba el alquitrán de hulla.*

Runge contempló una muestra de alquitrán de hulla, concluyendo que o bien se trataba de una integración de diversas sustancias que se coordinaban libremente, por tanto, una simple mezcla o estaban unidas más firmemente, presentando una composición uniforme. Para aislar los componentes y analizarlos había que pensar en la disolución. Diferentes sustancias se disuelven de distinta forma en varios disolventes: la grasa se diluye en los éteres, pero nunca en agua o alcohol; las resinas lo hacen sólo en alcohol; las sales, ácidos o bases, en agua; algunas sustancias en mezclas de agua y alcohol. Probó con muchas cosas. Al final del proceso de agitación, aplicación de calor, reposo y filtrado, aparecían separados el alquitrán y el disolvente. Ni agua, ni éter, ni alcohol servían. El alquitrán de hulla parecía una combinación de partes insolubles. Lo tendría que atacar con ácido sulfúrico, lechada de cal o ácido nítri-

co. Pero optó por la destilación a distintas temperaturas, con o sin mezcla de algún compuesto ácido o básico. En el alambique observó que cambiaba de color. Obtuvo un líquido ligero, volátil, oleoso y el residuo era una especie de brea negra y dura. Mezcló el líquido con lechada de cal, agitó y calentó y la disolución se tornó clara. Añadió después ácido clorhídrico y se desprendían unas gotas viscosas. Se trataba de un ácido, cuando lo caracterizó. Como provenía del carbón lo denominó ácido carbónico. Evaporó y lo concentró y la sustancia se espesó cada vez más y cuando se secó, las paredes se cubrieron de cristales incoloros, que adquirieron un tono rosado, después enrojeció, se volvió púrpura y, finalmente, terminó en una tonalidad carmesí. Sin duda, allí había algo. No sabía qué era. Andaba a tientas pero con una constancia sin fin seguía haciendo experimentos. No se cansaba. Indirectamente llegó al aceite de palma. Lo saponificó de distintas formas, empleó cal anhidra y disolvió jabón cálcico con ácido clorhídrico. Obtuvo una sustancia de aspecto céreo que denominó estearina. Con ello logró velas que no ahumaban, con llama inodora y menor coste que las convencionales. Todo el mundo las usó, incluso la corte del rey de Prusia. No percibió nada por el descubrimiento. Para él fue un hallazgo, no un invento.

*Runge optó por destilar el alquitrán de hulla.*

*Obtuvo estearina con la que se fabricaron velas que no ahumaban. Fue un hallazgo, no un invento*

Siguió examinando el ácido obtenido del alquitrán del fenol. Contabilizó por encima de novecientos experimentos, minuciosamente registrados y anotados. Había anotado el "ácido rosólico" que era el colorante obtenido a partir del ácido carbónico. En la destilación del alquitrán de hulla, se condensaban unas gotas amarillentas en el refrigerante, que volvían al alambique. Lo denominó aceite ligero de hulla, aun-

*Runge contabilizó más de novecientos experimentos.*

*Runge llegó a pensar en la piedra filosofal.*

*Obtuvo leucol, básico en la fotografía en color.*

*Runge obtuvo la anilina, sin saberlo.*

*Runge no daba con las leyes que regían lo que observaba.*

que no tenía nada de aceite, salvo su aspecto. Como era reluciente, Runge cayó en la tentación de pensar en la famosa piedra filosofal, pensando en que se ocultaban secretos que quería desvelar. Hasta entonces había tratado aquel aceite con lechada de cal, pero ahora, se le ocurrió probar con ácido sulfúrico diluido. Añadió potasa cáustica, calentó, hirvió y destiló la mezcla y los gases que emanaban olían a ácido fosfórico y a almendras amargas. En el alambique había un líquido blanco y oleoso. Denominó al producto aquel, leucol, por su color blanco, que después sería una sustancia decisiva en la fotografía en color. Un día cogió una disolución de cloruro de calcio y lo vertió gota a gota en el aceite de hulla, obteniendo una probeta con un color violeta precioso. Hasta entonces, el cloro había destruido todo el color y ahora creaba uno nuevo. Lo denominó kianol. Cuando introdujo plantas en esta disolución murieron ipso facto. Cuando vertió ácido en la disolución, se formaron cristales incoloros. Cuando añadió a los cristales cloruro cálcico, obtuvo un color violáceo. Eran cristales de anilina, aunque Runge no lo sabía.

Runge había intentado poner orden en los hallazgos, pero no parecía capaz de ello. No daba con las leyes que gobernaban lo que observaba. La combinación de los elementos no estaba nada clara. Había producido colores, desde el rojo púrpura al delicado verde malva. Su descubrimiento parecía limitarse a tres ácidos y tres bases en el alquitrán de hulla. Con los colorantes obtenidos teñía madera y tejidos. Esto es lo que reflejó en su informe "Sobre algunos productos de la destilación del carbón de hulla"

Se pensaba que era una locura obtener colorantes del alquitrán de hulla. Pensemos que el producto estrella de la época, en torno a 1840, era, en especial, el colorante índigo que se cultivaba en la India. Otro químico alemán, Hofmann, que había conocido el informe de Runge y suponía la existencia de las bases de Runge, se puso a trabajar sobre ello. Las encontró, aunque en una cantidad ínfima. No sabía que con el minucioso método de Runge se obtenían todas las bases del alquitrán de hulla, pero él no necesitaba obtener un gran rendimiento. Se conformaba con obtener la mitad o la décima parte de las bases del aceite que tenía a su alcance en cantidades ilimitadas. Lo trataría con un ácido fuerte para que las bases se uniesen con ese ácido, al menos una parte. Les ayudaría con calor. Quizás obtendría, así, el kianol. Paso ácido clorhídrico a través del aceite del alquitrán de hulla y se formó un precipitado. Lo agitó con agua y se depositó otra vez. Hizo pasar el gas a través del alambique, calentó y agitó con agua y la que estaba sobre la superficie tenía color rojizo. Solamente podrían dar color al agua las bases clorhídricas disueltas. Logró subir de tono el color. Sacó el líquido sobrenadante, lo evaporó y mezcló la espesa disolución con potasa cáustica. Se separaron unas gotas oscuras que ascendían hasta la superficie y allí se unían dando lugar a una capa aceitosa de color pardo y olor insoportable. Una prueba le dio que era una mezcla de leucol y kianol. Logró separarlos. Había simplificado el procedimiento de Runge. Hofmann analizó el kianol: carbono, hidrógeno y nitrógeno, que pesados y cubicados llevaban a setenta y siete partes de carbono, ocho de hidrógeno y quince de nitrógeno:  $C_{12}H_{14}N_2$ . Le era conocida la fórmula a

*Era inconcebible obtener colorantes del alquitrán de hulla.*

*Hofmann perfeccionó los experimentos de Runge y obtuvo la fórmula de lo que sería la anilina.*

*Hofmann bautizó al compuesto como Anilin, por proceder del anil que en árabe significa azul.*

Hofmann. Buscó en su ordenado fichero y localizó una de Zenin que había informado que en San Petesburgo le había quitado el oxígeno a un hidrato de carbón subnitado, mediante sulfato amónico. Lo trató con nitrobenzol y obtuvo una nueva materia que llamó Benzidam. Zenin indicaba que mezclando nitrobenzol con sulfato amónico obtenía una sustancia que tenía setenta y seis partes de carbono, ocho partes de hidrógeno y catorce de nitrógeno. La diferencia con lo suyo era mínima. Le vino a la cabeza Fritzsche porque decía que había destilado índigo con un álcali y había encontrado, también, una base oleosa. La denominaba Anilin y lo explicaba por proceder de anil, que en árabe significa azul. Los portugueses habían comerciado con el índigo durante siglos, llamándolo así.

*Hofmann concluyó que kianol, benzidam, anilina y cristalina, eran la misma cosa.*

Se trataba, entonces, de que era una base de plantas (índigo). Podría tener una afinidad con otras bases de plantas, como los alcaloides: atropina, morfina, etc. Hofmann recordó que otro científico, Unverdorben publicó unos veinte años antes, que había obtenido una base del índigo. que le llamó cristalina. Siguiendo los pasos de Unverdorben, efectuó una destilación seca y analizó el destilado, llegando a la misma fórmula que los demás,  $C_{12}H_{14}N_2$ . Concluyó que Kianol, benzidam, anilina y cristalina eran la misma cosa. Pero que tuvieran la misma fórmula no implicaban que fuera la misma cosa. Hofmann llevó a cabo un examen minucioso de todas las reacciones y las propiedades de los cuatro compuestos. Atacó las sustancias con ácido crómico, con sales de óxido y protóxido (menor proporción de oxígeno) de hierro. Con sulfato de aluminio, de cinc, de cobre. Mezcló los cuatro materiales con clo-

ruro de cobre, de mercurio, de platino, de paladio y de oro. Lo hizo, también, con cloruros de estaño y de antimonio juntos. Calentó, vaporizó, mezcló, lixivió, hizo reaccionar gases, álcalis, vapores, ácidos. Presenció y sobrevivió a varios estallidos. Manejó al peligroso cianhídrico, capaz de envenenar a cualquiera. Verificó los pesos y llegó a la misma conclusión en todos los casos. Todos habían llegado al mismo compuesto. Reconoció a Runge como el primero que obtuvo una base en el alquitrán de hulla, que también crecía en una planta tropical que se cultivaba en la India. Los inicios son terribles. ¡ Magnífica concurrencia científica! Al final alguien es capaz.

*Reconoció a Runge como pionero.*



M. Requena

## TRAZO 3.11

## Hierro en la sangre

Berzelius, es considerado el padre de la Química sueca y también de la Química moderna, junto a Dalton, Lavoisier y Boyle. Estudió medicina, y después Química en Upsala, aunque se dedicó a la investigación Química y Física. Logró la cátedra de Química de Estocolmo en 1815. A él se debe el codificar a los elementos con la primera letra de su nombre latino, a la que se agregaba una letra cuando era necesario diferenciar, como Carbono (C), Calcio (Ca) y Cadmio (Cd), por ejemplo. Tardó tiempo en ser mundialmente aceptada, pero triunfó porque hasta ese momento la nomenclatura química era un caos.

*Berzelius es uno de los padres de la Química Moderna.*

En cierta ocasión agitó un tubo de ensayo ante la mirada inquisitiva de su alumno y le agregó un par de gotas de una disolución de ferroprosiato, anunciando que si había hierro, se produciría una coloración azul intensa. Así fue. Pero lo sorprendente es que lo que el tubo contenía al comenzar el experimento era sangre. El alumno era Wöhler, con 24 años entonces, químico alemán que se haría famoso por descubrir la urea en 1828, lo que le convirtió en pionero de la Química Orgánica. Su descubrimiento supuso una convulsión en el mundo científico y en el filosófico, por cuanto logró sintetizar un compuesto orgánico a partir de uno inorgánico, y como la urea era un producto elaborado por los seres vivos (hombre y muchos animales e incluso algunos vegetales), le asestó un duro golpe a la teoría vitalista, precisamente debida a uno de sus maestros: Berzelius.

*Wöhler, descubridor de la urea, fue alumno de Berzelius.*

*La urea supuso un revuelo mundial, por cuanto era sintetizar un producto orgánico a partir de uno inorgánico.*

*Engelhart aisló la hematina encontrando hasta un 50% de óxido férrico.*

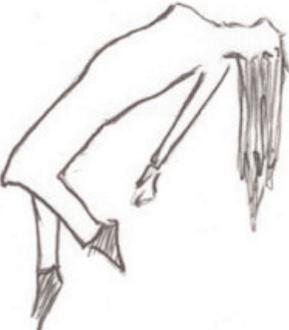
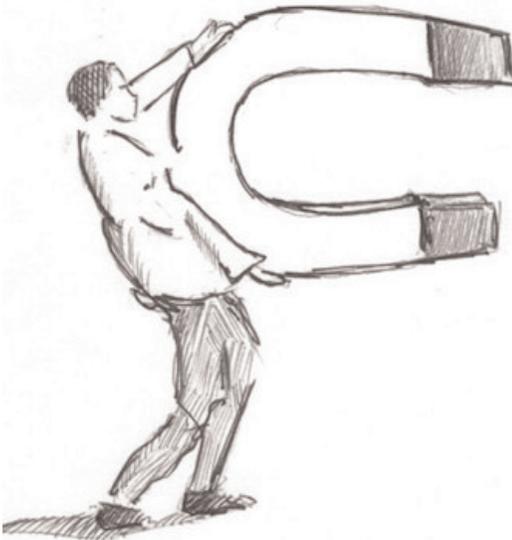
En realidad ya se sabía, por cuanto Engelhart en Göttingen, incluso otros antes, habían analizado la sangre con anterioridad, aunque no en busca de hierro, encontrando un poco de todo y, a veces, incluso trazas de hierro. Pero dado que las cantidades que se detectaron eran tan exiguas, se pensaba que eran impurezas procedentes de los aparatos de experimentación. Un tal Thompson aproximó un imán a cenizas de sangre y no encontró ninguna partícula en el imán. Fue Engelhart el que aisló, la que denominó hematina, e investigó este pigmento y encontró en él hasta un 50% de óxido férrico. Como Berzelius diría, reduciendo el óxido se obtiene hierro metálico, que se deja atraer por un imán. Pero para ello era necesario pasar por Estocolmo.

*Whöler aprendió de Berzelius lo más valioso: el razonamiento químico.*

Whöler aprendió con Berzelius, lo más valioso que se puede adquirir con un maestro: el razonamiento químico. Había conocido opiniones y teorías, ensayado experimentos, repitiendo centenares de veces. Allí conoció la propuesta de Oerstedt, sobre las leyes naturales de la Química, que concretaba en dos fuerzas naturales que rigen en la materia: la de combustión y la de inflamación. La primera actuaba en los cuerpos combustibles y en los álcalis y la segunda en el oxígeno y en los ácidos. Conoció las teorías de Davy, que admitía que los átomos se electrizaran por contacto recíproco, como las láminas de las pilas de Volta. Y aprendió las propuestas de Berzelius, para quien los átomos estaban, de forma natural, cargados eléctricamente, poseyendo un polo positivo y uno negativo. Todas las reacciones eran debidas a esto. Whöler le evidenció a Berzelius que pensaba que la teoría de éste era infalible, a lo que Berzelius contestó sonriendo y le narró lo que ocurre con las teorías, cuya mayoría resultan

ser falsas y, precisamente, aquellas que parecen infalibles, conducen, con el paso del tiempo, a contradicciones. La dinámica de la Ciencia es así. Los adversarios de una teoría presentan oposición y llevan a cabo experimentos y cálculos intentando apoyar su oposición, buscando falsar la teoría, demostrar que es falsa y con ello, plantear una nueva forma de verlo, una nueva teoría, que se acerca un poco más a la verdad que se pretende describir. Un auténtico maestro, Berzelius. Sobre todo un maestro.

*Según Berzelius la mayoría de las leyes son falsas y las que parecen infalibles conducen, con el tiempo, a contradicciones.*



A handwritten signature or initials, possibly "A. Requena", located in the lower right area of the page.

## TRAZO 3.12

## Imagen muónica

Los muones son partículas elementales que no pertenecen directamente a los átomos. Tiene una carga igual a la del electrón, pero una masa unas 200 veces superior y su vida media, 2.2 microsegundos, es mayor que la de otras partículas inestables. Se producen de forma natural al interaccionar los rayos cósmicos con las capas altas de nuestra atmósfera terrestre y de forma artificial en las instalaciones de experimentaciones de los aceleradores de partículas, tipo CERN, los Álamos, etc.

*Los muones no pertenecen directamente a los átomos.*

La Tierra está bombardeada por radiación cósmica constantemente. Permanentemente se están produciendo muones. La energía de éstos es tan elevada que pueden atravesar cualquier material que se interponga, aunque, lógicamente, irá perdiendo velocidad conforme vaya penetrando en los materiales. Si disponemos un detector de aquéllos, podemos construir una radiografía muónica. Si disponemos varios detectores a distintas profundidades, podremos construir una imagen en tres dimensiones o tomografía del material atravesado. Huecos, materiales densos, zonas sólidas u objetos de diferentes densidades pueden ser identificados haciendo uso de un montaje como el descrito.

*Permanentemente se están produciendo muones.*

A finales de los 60 del siglo pasado Álvarez fue galardonado con el Premio Nobel por su contribución a la Física de partículas. Empleó un montaje similar a los actuales de radiografía, de forma que registraba el rastro de los muones. El tiempo de detección era de días e incluso semanas y la resolución muy baja.

*Álvarez logró el premio Nobel en los 60.*

*En los 60,  
Álvarez aplicó la  
técnica para  
examinar las  
pirámides de  
Egipto.*

Posteriormente las emulsiones de bromuro de plata incrementaron la resolución espacial de las radiografías de muones. Hoy, la lectura de la detección se realiza con microscopios electrónicos automatizados. Ya en aquellos momentos Álvarez y col. abordaron la aplicación de la técnica para examinar las pirámides de Egipto, pero la guerra de los seis días declarada el 10 de junio de 1967 hizo abortar el proyecto.

*Los muones que  
llegan a la  
Tierra son capa-  
ces de atravesar  
montañas*

Hoy se emplean detectores de centelleo sobre placas de plástico y resistencias que permiten un procesado on line. Las energías de los muones que llegan a la Tierra se sitúan entre 1 y 1000 Giga eV. Interaccionan con la materia, bien mediante interacción electromagnética que implica la producción de electrones tras la ionización a su paso a través del medio y mediante dispersiones colombianas múltiples cambiando de dirección tras la colisión con los núcleos. Si se consideran materiales como agua, hormigón, hierro, plomo y uranio, cuya densidad, tanto volumétrica como superficial es creciente en un orden de magnitud, aproximadamente, del primero al último de la lista, la energía que se deja el muón al atravesar un espesor de 10 centímetros de material, por término medio, es de unos 2.2 mega electrón voltio. Por el contrario, el alcance, entendido como el espesor que es capaz de atravesar hasta detenerse, pasa a ser de 2 órdenes de magnitud decreciente al pasar del primero al último de la lista. Por ejemplo, un muón de 30 GeV atraviesa un espesor de agua de más de 130 metros, mientras que, si se trata de plomo, solamente atraviesa 12 metros. En todo caso los muones que llegan a la Tierra son capaces de atravesar montañas y, ¡ cómo no!, las mismísimas pirámides de Giza.

Se estima que a nivel del mar el flujo de muones es de unos 10.000 por metro cuadrado y minuto, aunque no es uniforme y varía según el ángulo de detección. Todo ello implica que las mediciones empleen mucho tiempo. Los detectores responden con mayor precisión cuanto mayor es la energía de los muones que, a su vez, son los más penetrantes. Se ha empleado la tomografía de muones en volcanes activos para hacer una radiografía, mediante la que se puede detectar la presencia de lava debajo del cráter, dado que, justamente es la densidad lo que se modifica en el proceso de una erupción. Con información de este tipo se puede simular la posible erupción e identificar las zonas más peligrosas. En la central de Fukushima se empleó para analizar las fisuras del blindaje del reactor y detectar el sellado estructural.

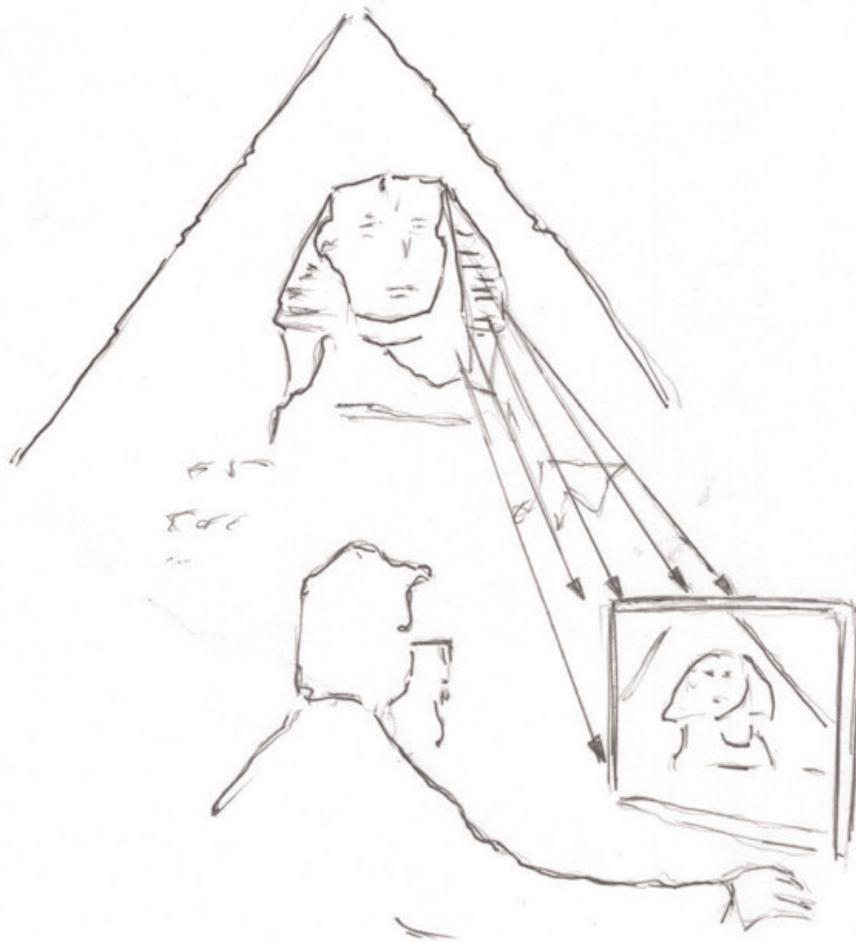
*A nivel del mar llegan unos 10.000 muones por metro cuadrado y minuto.*

Básicamente, la detección responde a las variaciones de densidad encontradas en el recorrido de los muones a través del material. Las aduanas y controles portuarios, aeroportuarios, zonas militares, etc, son susceptibles de utilizar la técnica. En cierta medida es una modernización de la técnica de radiografía con protones que iniciara el Laboratorio Nacional de Los Álamos en la década de los noventa. Se adoptó la radiografía de muones cuando se pretendió aplicar a objetos muy grandes, desde grandes contenedores hasta montañas o volcanes. Todavía cabe una extensión significativa cuando pretendamos que la radiografía sea de un planeta, ya que entonces los neutrinos serán los que nos permitirán llevar a cabo las radiografías, dado que son capaces de atravesarlos y podrán informarnos de los cambios de densidad para estudiar sus aspectos geofísicos.

*Es una modernización de la radiografía de protones.*

*Hoy se ha modificado la técnica para incorporar la detección de la dispersión.*

No obstante, de tener décadas de tradición la detección de muones hoy vuelve a tener interés, habida cuenta la difusión que han logrado los dispositivos que emplean elevadas dosis de radiación ionizante, que derivan de campos magnéticos fuertes, para la producción de imágenes. Los muones podemos usarlos, como hemos señalado anteriormente, para medir la absorción en capas de pequeño espesor o mediante la técnica de dispersión (scattering) múltiple. Sin embargo, hoy se propone un uso adicional de los muones creados de forma secundaria, que no se ha empleado en los métodos de imagen hasta ahora y que le convierten en una poderosa técnica analítica no destructiva. La nueva técnica analítica consiste en imágenes producidas por el itinerario de los muones incidentes y la detección de la radiación de los muones inducidos de forma secundaria, la mayoría procedente de la radiación generada a partir de los electrones. Por vez primera se han podido visualizar con precisión objetos pequeños con bajo número atómico. Esto amplía la lista de elementos y el rango de las dimensiones que se pueden representar mediante imágenes.





## Imagen viviente

La cámara fotográfica es un remedo del ojo humano. La parte sensible, la placa en las cámaras equivale a la retina en los ojos. En la actualidad la placa consiste en una superficie virtual bidimensional que recoge los puntos activos y forma una imagen digital de la captura. Pero tanto los gránulos de plata en la placa sensibilizada, como la superficie virtual, constituyen la placa sensible de la retina constituida por las células terminales de los nervios ópticos. El nervio de la visión tiene una sección de unos dos milímetros de diámetro, por donde discurren del orden de 80 millones de fibras nerviosas, independientes, que conectan con el cerebro esa superficie de aproximadamente  $1 \text{ cm}^2$  que es la placa sensible de la retina que alberga unos 75 millones de células terminales sensibles al claro y oscuro y unos 3.5 millones de terminales sensible al color. Herófilo de Calcedonia, médico griego de la Escuela de Alejandría que vivió a caballo entre el siglo IV y III a.C., citado por Galeno, descubrió la retina y se le considera como el primer anatomista y practicó la vivisección sobre criminales y esclavos condenados a muerte, a los que se les sacaba de la prisión a tal efecto. Le dio ese nombre porque se configuraba como una red (en latín "rete"). A finales del siglo XIX Ramón y Cajal describió, por primera vez, la estructura microscópica de la misma. La retina está dispuesta, a recibir los casi 80 millones de impresiones lumínicas y darles curso hacia el cerebro. El número de clientes de una compañía como la Telefónica reunidos en un ojo humano ocupando tan solo un centímetro cuadrado.

*La cámara fotográfica imita el ojo humano.*

*Herófilo de Calcedonia descubrió la retina a finales del siglo IV a.C..*

*Cajal describió la estructura de la retina a finales del XIX.*

*Reproducción automática del movimiento.*

La imagen móvil suponía un reto. Había que pasar una cinta de imágenes sincopadas por una lente con la restricción de que la sucesión de imágenes de la cinta debía quedarse quieta un instante (tanto en la toma de la fotografía como en la proyección) y aprovechar el instante en que el diafragma está cerrado y no deja pasar la luz, para seguir el movimiento cuando el diafragma se abría. Todo un alarde mecánico. Era, por así decirlo, una reproducción fotográfica del movimiento. De aquí su denominación Cinematografía. Se había concebido la película, que vino de la mano de la sensación que había producido la fotografía.

*Plateau, ciego, concibió la mecánica de la cinematografía.*

No obstante, los primeros pasos se dieron con dibujos y no con fotografías. El profesor Plateau daba clase de Física y Fisiología en la Universidad de Gante. Estudiaba la luz y el efecto sobre la retina. Su peor triunfo fue que quedó ciego. Pero en su ceguera concibió el hecho principal de la cinematografía: si disponemos en un disco circular un movimiento descompuesto en sus facetas, por ejemplo situamos al borde del disco doce figuras de un brazo en las que la única diferencia sea la altura del brazo, cuando lo coloquemos sobre una base circular igual que el disco y las hagamos girar, nuestro ojo captará doce impresiones sucesivas que le harán sentir la sensación de que el brazo se mueve. Su mujer fue la que materializó el experimento, dado que el no podía ver. El brazo se movía. Nunca supo que en Viena, el profesor Stampfer, físico, movía dos discos, al mismo tiempo que Plateau y del mismo modo, consiguiendo el mismo efecto.

Se había descubierto la imagen viviente. Durante mucho tiempo fue como un juego de

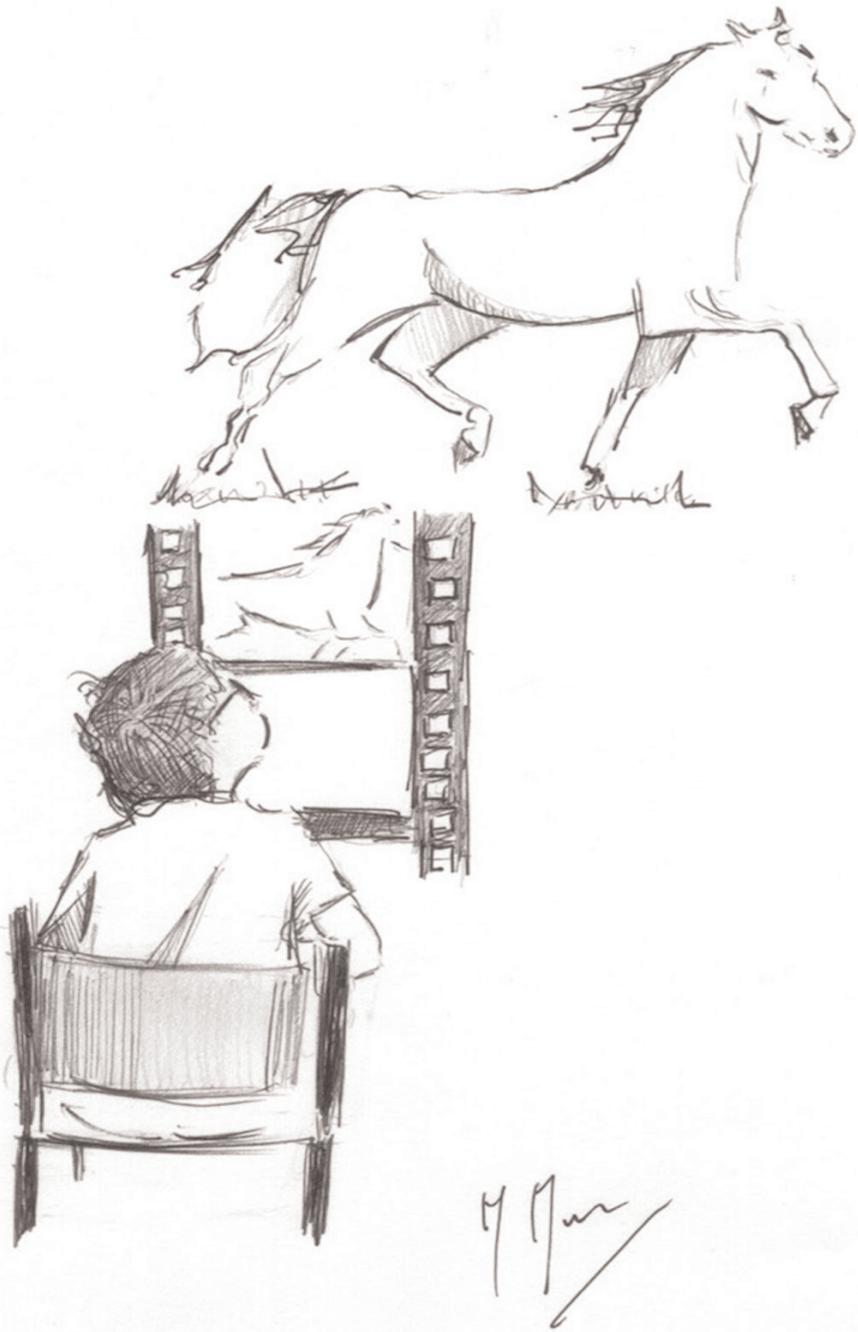
niños. Pero mientras suponía una distracción, había quienes reflexionaban y progresivamente se fue sintiendo la necesidad de pasar del dibujo a la fotografía. Esto introducía nuevos problemas, dado que para plasmar el movimiento había que fotografiar las distintas caras y no se sabía cómo hacerlo. Marcy construyó un revólver en el que el tambor en lugar de estar cargado con munición, lo estaba con placas fotográficas y la lente estaba en el cañón. Hizo un auténtico alarde con un caballo que corría frente a una serie de aparatos colocados en línea recta que el caballo disparaba mediante una conexión eléctrica que actuaba cuando pasaba. Encuadradas las fotografías en forma de libro, se pasaba el pulgar haciéndolo hojear con el pulgar.

*Marcy concibió un revolver en el que el tambor estaba cargado con placas fotográficas.*

Se empleó mucho dinero y trabajo en la sucesión de diapositivas. Hyatt en 1869 descubrió el celuloide, pero hasta 34 años después, no llegaron otros dos hombres Luis Lumiere, francés y Max Skladamnowsky, alemán que iniciaron la solución final. Todo el mundo quería construir el aparato definitivo. Las placas de celuloide de Eastman facilitaron las cosas. Cortaban tiras y las empalmaban formando cintas. Edison incorporó los agujeros para hacer avanzar la cinta. En 1891 Edison registró dos patentes una de fotografía y otra de observación. Al aparato lo denominó kinetoscopio. La cámara tomavistas incorporaba una Cruz de Malta para la puesta en marcha a sacudidas de la cinta perforada y un diafragma giratorio que oscurecía el objetivo durante el avance de la cinta. Así nació la primera cámara cinematográfica del mundo.

*34 años después del descubrimiento del celuloide, Luis Lumiere y Max Skladamnowsky iniciaron la solución final .*

*Edison registró dos patentes.*



## TRAZO 3.14

## Improvisación e incertidumbre

El "Impromptu" es una pieza corta generalmente, aunque no exclusivamente, para piano, que se improvisa. Fue practicado por grandes maestros como Chopin, Schubert y otros autores. Estuvieron precedidos por el genio de Juan Sebastián Bach que era un excelente improvisador. Cuando fue invitado para probar los más de 15 pianos Sibelman que acababa de adquirir Federico el Grande, rey de Prusia, que tenía especial fascinación por la música, además de ser un estratega militar de primer orden, Bach proponía un tema en cada piano e improvisaba piezas enteras. En una ocasión fue el rey el que propuso y la pieza que emergió fue una fuga a tres voces, que posteriormente culminó en una fuga a seis voces y, junto con otras piezas, constituyó la celebrada obra titulada Ofrenda Musical, que dedicó a su majestad.

*Bach fue un excelente improvisador.*

*La Ofrenda Musical es una obra extraordinaria.*

La improvisación es uno de los arcanos del jazz. La métrica del jazz son los compases de 4/4, 3/4 (jazz-vals) y se pueden encontrar compases de 5/4 y 7/4. Hay que tener en cuenta que la duración de las notas se ve alterada, como se ejemplifica de forma excelente en el llamado *sabor del swing*, en el que cada negra equivale a dos corcheas, pero a diferencia de la música convencional, cada corchea tiene distinta duración: la primera vale el doble de la segunda, es decir que dos corcheas se interpretan como un tresillo en la que la primera de las corcheas toma la duración de una negra (dos de las tres partes) y la tercera corchea si tiene su valor en el tresillo. La música de jazz,

*Métrica del jazz.*

### *Acordes en el jazz.*

por otro lado, es sincopada, queriendo significar que se ligan partes débiles a partes fuertes del compás, constituyendo una parte rítmica fundamental en el jazz. En el compás de compasillo, las partes fuertes son la primera y la tercera y en el jazz se marcan los acentos, preferentemente en las corcheas que anteceden a la primera y tercera, lo que transmite excitación. Mientras que la armonía clásica consta de triadas que son acordes de tres notas: primera, tercera y quinta, en el jazz los acordes constan como mínimo de cuatro notas, añadiendo la séptima, que introduce un color especial y agregando la novena, undécima o decimotercera, que acumulan tensión. Armónicamente una nota del acorde es consonante y una extraña es disonante. En jazz las siete notas de la escala pertenecen al acorde y son consonantes. Como hemos visto las disonancias en jazz se refieren como tensiones armónicas. Con estas reglas de juego se desarrolla la ejecución.

### *Tensiones armónicas.*

### *Las escalas en Blues.*

En el caso de blues, se tocan las notas de las escalas de blues, que contienen solamente seis de las doce notas de las escalas convencionales. Ahora bien, la improvisación no consiste, como aclara Winston Massalis, solamente en tocar notas y ... ¡a ver que sale!, sino que todo lo anteriormente expuesto opera a modo de restricciones que impiden poder ejecutar cualquier cosa que se pueda ocurrir. Básicamente se trata de un lenguaje, con sus reglas, las notas son como las letras, las escalas y acordes son como las palabras y las pautas, son como las frases, que en muchos casos ha pronunciado alguien que ha logrado generar un enunciado con garra, que ha tenido la virtud de cautivar y que en el fondo repetimos apropiadamente, ajustando a la armonía y

ritmo que rigen en el momento de introducir la improvisación. Todo lo que el jazz tiene es lo propio de cualquier lenguaje. Hal Crook, autor de un excelente libro sobre improvisación, nos aclara que las improvisaciones del jazz no responden a un proceso aleatorio, sino que son una función de la memoria, la creatividad y el estudio. Un detalle adicional es la importancia del estudio. Sonny Rollins alude, textualmente, a través de Alexander que "practico sin parar y cuando toco, no toco lo que practico. No se puede tocar y pensar al mismo tiempo. Cuando toco, no quiero tocar la música, sino que la música me toque".

*La improvisación en jazz: memoria, creatividad y estudio*

Consideremos el entorno que suscita la Mecánica Cuántica. Es bien conocido que una de las interpretaciones de la descripción cuántica es que la observación perturba al sistema, de forma irreversible. La contracción de la función de onda para dar un resultado observable es una forma de conciliar la experiencia empírica con la descripción teórica. Ahora bien, mientras no se perturba el sistema para observarlo, el sistema permanece con todas sus propiedades originales. Es decir, si un electrón no es observado, describirá muchas trayectorias al mismo tiempo. Aquí podemos encontrar un punto de confluencia con la improvisación musical, dado que como reconocen maestros del jazz, hay momentos en los que el intérprete no "observa" las notas que está tocando y al igual que el electrón cuántico, las notas parecen efectuar una especie de danza. Ejecutando una pieza de jazz si no se toca nada, el ritmo sigue, como el inevitable transcurso del tiempo.

*En cuántica, la observación perturba el sistema.*

*El intérprete de jazz "observa" las notas que está tocando.*

Alexander reflexiona sobre la improvisación, que está en el núcleo de la formulación de la

*La improvisación está en el núcleo de la formulación de la Cuántica de Feynmann.*

*La analogía jazz-cuántica es completa si identificamos notas con partículas e improvisación con probabilidad de las diferentes trayectorias posibles.*

Cuántica debida a Feynmann. En Mecánica Clásica una partícula se traslada por el espacio, desde un instante inicial hasta un instante final, describiendo una trayectoria que resulta ser determinista, continua y unidimensional. Si consideramos el marco cuántico, la partícula se mueve entre dos puntos, pero hay que considerar todas las trayectorias posibles entre ambos, aunque no son igualmente probables. Esta versión se parece mucho a la de un músico que a la hora de improvisar dispone de todas las notas de la escala que impone la armonía, antes de tocar el solo improvisado. La analogía es completa si identificamos las notas con las partículas y la improvisación con la probabilidad de las distintas trayectorias posibles a describir por aquéllas. Una sutileza sería considerar la nota inicial y considerar que la final es la diana a alcanzar, de forma que las otras notas de la escala trazan una trayectoria a lo largo del tiempo que es la conexión entre la nota inicial con la final. Claramente cuando un improvisador ejecuta todas las notas o trayectorias su subconsciente elige entre las posibles, según las restricciones establecidas, con lo que se trata de una integración de todas las posibilidades que se ofrecen. En el entorno físico cada trayectoria tiene su probabilidad y solamente cuando se suman todas las opciones de trayectoria posibles, se obtiene la trayectoria real más probable, que es la que, finalmente se observa. El experimentador integra la probabilidad relativa de cada "nota". También, en el marco cuántico, la trayectoria resultante de la integración de todas las posibilidades ofrecerá un resultado vago, debido a la incertidumbre inherente a todo sistema cuántico. Heisemberg es implacable. Cada trayectoria corresponde, en realidad, a más de una onda cuántica y las ondas disfrutan de propiedades

que no son análogas a las partículas, como son la interferencia. Fourier describió acertadamente tal situación y construyó el soporte para el proceso de interferencia. La mayoría de las trayectorias alejadas de la real producirán interferencias destructivas y no se observarán, mientras que otras resultarán afectadas por interferencias constructivas que aportarán incremento de la probabilidad de observarse. Desde la vertiente musical, las notas están soportadas por ondas que genera el instrumento al ejecutarlas y cabe conjeturar, con Alexander, que los cerebros de los improvisadores manejan las interferencias que inciden en las decisiones de qué notas tocar de entre todas las posibilidades que se le ofrecen en un instante dado. La analogía está servida.

*Las ondas disfrutan de propiedades que no son análogas a las de las partículas.*



1947

## TRAZO 3.15

**Interferencia consciente**

Gracias a la tecnología, se llevan a cabo experimentos de interferencia cada vez con moléculas de mayor tamaño y ya se logra con moléculas de varios centenares de átomos. Ya se conjetura que es posible en un futuro próximo abordar la cuestión con virus. En realidad, las leyes de la Mecánica Cuántica no establecen límite alguno al tamaño ni a la complejidad de los objetos susceptibles de experimentos de interferencia, por lo que no debería extrañarnos que los avances de la tecnología nos permitan algún día realizar el famoso experimento con el gato de Schrödinger directamente y que deje de ser una conjetura o experimento mental.

*Actualidad de la conjetura del gato de Schrödinger.*

Cualitativamente, el experimento introduce la consideración en los experimentos de interferencia de un "objeto consciente", que un día podría alcanzar al humano, propiamente dicho. La cuestión es realmente provocadora, por cuanto su interés se extiende a todo el mundo y no se limita al cerrado círculo de los físicos, los químicos o, en general, al ámbito científico. Los interrogantes surgen con fuerza: ¿Qué experimentaría la conciencia del objeto consciente sometida al experimento de interferencia? Todavía más audaz resultaría plantearnos ¿que nos contaría de la experiencia una vez sometido a la misma?, ¿que nos diría?

*Interferencia de un "objeto consciente".*

No es la primera vez que surgen estas cuestiones. La medición cuántica es un problema porque violenta nuestra comprensión del mundo, que se supone que es independiente de nues-

*El conflicto entre realismo ingenuo y medición cuántica.*

*La Ciencia debe investigar la Naturaleza sin imbuirle sus propias creencias.*

*El origen de la conciencia está lejos de ser comprendido.*

tra observación. El conflicto entre realismo ingenuo y medición cuántica obligó en los albores de la Mecánica Cuántica a que se considerara la cuestión de la observación y la medición. Pauli, Jordan y Wigner creyeron que algún aspecto de la conciencia --refiriéndose a capacidades mentales como la atención, la alerta y la intención-- eran indispensables para entender la medición cuántica. Jordan escribió: "*Las observaciones no sólo perturban lo medido, lo producen... Provocamos que el electrón asuma cierta posición definida. Nosotros mismos producimos el resultado de la medición*". La Ciencia rehúye, instintivamente, de cosas por el estilo, entre otras razones porque pone en tela de juicio fundamentos establecidos. La Cuántica refuta la realidad objetiva. Hasta ahora se soslayaba apelando a que la Cuántica solamente afectaba al mundo microscópico. Pero ya se ve que se trata de algo sustancial a todo el Universo y es difícil entender que en los constituyentes básicos de nuestra materia y, por tanto, nuestro sentido existencial, se modifica por el hecho de observarlo. La Ciencia debe investigar la Naturaleza sin imbuirle sus propias creencias. En el colapso de la función de onda al medir un fenómeno, se proyecta la Conciencia en ese fenómeno y de esta forma la realidad resulta ser una imagen del modelo de realidad que la Ciencia configura.

Como la función de onda determina la probabilidad y ésta cambia cuando un observador llega a ser consciente del resultado de una observación, debe haber una relación íntima entre la Mecánica Cuántica y la Conciencia, como apuntara Wigner. El origen de la conciencia está lejos de ser comprendido en términos fisicoquímicos y las propuestas son controver-

tidas. Es más sencillo estudiar, en lugar de un objeto consciente que pueda luego contar la experiencia, objetos clásicos que tienen registrada irreversiblemente información, de forma que puede ser leída tras el experimento de interferencia; por ejemplo, en un nanorobot que es más simple que un gato vivo: ¿qué información podríamos leer de la registrada de forma irreversible antes del experimento? De acuerdo con el principio de complementariedad, la información registrada irreversiblemente no distingue cualquier información que pudiera ser complementaria a las propiedades de la onda en las medidas de interferencia. Por ejemplo, si la interferencia medida se puede explicar por una onda coherente que viaja siguiendo dos caminos a la vez, la información registrada irreversiblemente no se puede distinguir de cualquier otra información, como ha evidenciado Nikolic: *la interferencia no es posible si los estados de los grados internos corresponden a un camino distinto del correspondiente al otro camino por el que viaja*. Para hacer visible la interferencia es necesario aislar los grados internos del entorno externo, de forma que los internos no puedan contener información clásica sobre el camino en el que viajan. Si extrapolamos esto a la conciencia de un humano, como éste requiere una posesión de información clásica en el cerebro, nuestros resultados sobre la información clásica codificada en grados internos tienen consecuencias directas sobre el estado de conciencia. Cerebro y conciencia no pueden estar aislados del entorno. Considerar nuestro ser consciente, con la conciencia trabajando apropiadamente, implica que tenemos que colocar al ser consciente en una caja con todo lo que requiere para vivir normalmente en el presente. La caja es una especie de pantalla que nos pre-

*Cerebro y conciencia no pueden estar aislados del entorno.*

serva del exterior, de su influencia. Caja y ser consciente son un objeto compuesto con el que experimentamos la interferencia.

*Superposición de dos estados distintos macroscópicamente de un ser consciente.*

Como señala Nikolic *en los experimentos de interferencia se mide la posición de la caja como un todo*. En el caso del experimento mental de Schrödinger se supone que el gato está en una superposición de un gato muerto y vivo. En la moderna terminología el significado es más amplio y se supone una superposición de distintos estados macroscópicos de radiación o materia. Ahora nos referimos a una superposición de dos estados distintos macroscópicamente de un ser consciente, que está entre la interpretación clásica y la moderna del experimento mental original del "*gato de Schrödinger*". Ahora, para que la interferencia se perciba por un observador externo, la caja debe estar perfectamente aislada de la influencia del entorno, de forma que el ser consciente que está en el interior de la caja no tenga información del mundo exterior. De esta forma, si la función de onda del ser consciente viaja por dos caminos distintos, el ser consciente no percibirá nada inusual porque incluso la onda no sabría que viaja por dos caminos diferentes. Si la caja no aísla perfectamente del entorno, el ser consciente puede conocer el camino por el que viaja la onda y la interferencia no se observa. Esto, no es ni más ni menos, que lo que ocurre en todos los fenómenos macroscópicos y experimentalmente no se pueden distinguir de una situación clásica en la que el ser viaja solo según un camino.

*El problema del "amigo de Wigner".*

Wigner modificó el enunciado del experimento mental del gato de Schrödinger formulando el problema del "amigo de Wigner". En lugar de considerar un gato, consideró que tenía un

amigo que llevó a cabo primeramente una observación y le contó el resultado a Wigner. ¿Cuándo sufre un cambio la función de onda? ¿Sólo cuando el amigo de Wigner informa a Wigner o incluso antes, es decir, cuando el amigo de Wigner efectúa la observación? Para responder a este interrogante se puede concebir a Wigner como un observador externo y al amigo de Wigner como parte del sistema cuántico compuesto, que integra muchos grados de libertad internos, y al ser tan numerosos, la mayoría no se pueden observar en la práctica. Pero estos grados de libertad internos que no se observan pueden llevar consigo información necesaria para observar la interferencia cuántica. De esta forma, la interferencia no podría observarse en la práctica, porque estos grados de libertad son inobservables. Desaparece la interferencia a efectos prácticos, pese a que los grados de libertad de un sistema cerrado a nivel fundamental exhiban interferencia. Por tanto, el cambio relevante de la función de onda se puede identificar por la desaparición efectiva de la interferencia y la habilidad para observarla se puede identificar con la destrucción efectiva de la interferencia. El amigo de Wigner destruye la interferencia, incluso antes de contárselo a Wigner.

*El "amigo de Wigner" destruye la interferencia.*



17/9/2023

## Juicio al flogisto

El progreso responde a una flecha, como el tiempo, que actúa estableciendo la dirección de la evolución. En Ciencia, también. Puede parecer, en ocasiones, que los avances científicos son irremediables. Es posible. El progreso es como ese gran atractor que succiona sin descanso y que antes o después se satisface. El conocimiento, sin saber por qué, nos acosa a preguntas constantemente. Cada una de ellas provoca la aparición en cadena de muchas más. Muchos ojos miran, muchas manos laboran, muchas experiencias comprueban. Ese es el universo científico. Siempre ha sido de esta forma. En Ciencia, no hay hoy, sin ayer.

*El progreso tiene su flecha.*

*En Ciencia no hay hoy sin ayer.*

En Química hay muchas reacciones. Es la Ciencia de las reacciones. A partir de unos productos se generan otros. Es muy difícil encontrar algo en lo que no hay química tras él. Pero hay dos reacciones especialmente destacables: la oxidación (combustión) y la reducción. En términos convencionales, en la primera se combina un elemento con oxígeno para generar un óxido. En la segunda el oxígeno de un óxido se ve desplazado por otro elemento, que resulta ser más capaz para retenerlo. Estas dos reacciones son como las dos caras de la misma moneda. Oxígeno que entra y sale, bajo distintas formas. Sthal, en 1717 estudió estas reacciones, concluyendo que todo cuerpo combustible, contenía una sustancia, que denominó flogisto, que se escapaba en la combustión. Esto le llevó a interpretar que los cuerpos que eran susceptibles de arder eran cuer-

*Las reacciones de referencia son las de oxidación y las de reducción.*

*Según Sthal (1717) los cuerpos combustibles tenían una sustancia que denominó flogisto.*

pos compuestos, mientras que los que eran capaces de reducirse, eran elementos simples. El flogisto, pues, se desprendía o combinaba con otro elemento, cuando se trataba de reacciones de oxidación o de reducción.

*Charles fue el primero en abordar el estudio de los gases.*

Charles fue un inventor, científico y matemático francés que batió el record de permanencia en globo aerostático en 1783, elevándose a 2000 metros de altura. Inventó el densímetro. Pero es más conocido por aportar la denominada ley de Charles en 1787 según la cual, los gases se expandían de la misma forma al someterlos al mismo aumento de temperatura, manteniendo la presión constante. Posteriormente, se denominó, también ley de Charles y Gay-Lussac, debido a que Charles no publicó sus resultados y en torno a 1802 Gay-Lusaac dio a conocer sus observaciones y se incorporó su nombre a la famosa y útil ley de los gases.

*Charles coincidió con Lavoisier.*

Charles no estudió nunca. Asimiló cuanto le rodeaba. Daba clase de Física. Impartía conferencias semanalmente en su laboratorio. La gente acudía como si se tratara de un teatro. Las plazas se agotaban en todas las sesiones. Casi nadie de los asistentes entendía una palabra de lo que explicaba, pero asistían en silencio sepulcral a las evoluciones del maestro con los gases, tubos y vapores que emanaban en la mesa de laboratorio. En cierta ocasión recibió una visita inesperada: Antoine-Laurent de Lavoisier, biólogo y economista, pero sobre todo químico y reconocido como creador de la Química Moderna. Cuando visitó al profesor Charles, tras el intercambio de saludos iniciales, éste le preguntó si la visita era como químico o como recaudador de impuestos y ejerció como tal al servicio del rey, por lo

que tras la revolución, fue arrestado en 1793 y por muchos intentos de liberarle, fue juzgado por un tribunal que pronunció la famosa frase *"la república no precisa ni científicos, ni químicos, no se puede detener la acción de la justicia"*. Fue guillotinado el 8 de mayo de 1794. Lagrange pronunció, entonces, la famosa frase: *"ha bastado un instante para cortarle la cabeza, pero Francia necesitará un siglo para que aparezca otra que se le pueda comparar"*. Lavoisier preguntó a Charles sobre las conferencias que este segundo impartía, a las que había asistido su propia mujer y había observado que nunca había mencionado a Lavoisier. Charles le contestó: *"he aprendido de otro más grande a pasar en silencio los nombres ajenos"*. ¿De quién? preguntó Lavoisier, a lo que Charles contestó: de Lavoisier. Lavoisier prosiguió: *¿a quién he pasado en silencio?*, y Charles contestó: *a Priestley, Scheele, Cavendish, que descubrieron el oxígeno antes que usted, que ha plagiado sus trabajos y los ha publicado como propios y ha elaborado la teoría sobre la oxidación y pasa por ser un genio, cuando ¿Qué ha descubierto usted?* Lavoisier contestó: *"He descubierto los descubrimientos de otros. Lo del flogisto era una patraña secular. La teoría de Sthal era falsa"*. Ciertamente, sin Sthal no habría Lavoisier. Aquél encuentro terminó como comenzó, con la elegancia de dos científicos. Después Lavoisier llegó más lejos, porque tras la caída de la Bastilla, el 14 de Julio de 1789, quiso acabar, también, con un tirano científico: el flogisto. Montó desde la Academia de Ciencias, un proceso inquisitorial en toda regla: acusador: el oxígeno; acusado: el flogisto. Lavoisier vestido de negro tras la mesa. La acusación personificada por un jovencito, hizo un encendido discurso condenatorio contra el flogisto.

*Lavoisier, padre de la Química moderna, murió en la guillotina.*

*Lavoisier quiso acabar con el tirano científico del flogisto.*

*El abogado  
defensor del  
flogisto simula-  
ba al profesor  
Sthal.*

No estaba éste desamparado, porque disponía de un abogado de la mala causa, como ocurría con los procesos inquisitoriales, oponiéndose al fiscal, pero en este caso, un hombre anciano y decrepito, con una máscara en la que se advertían los rasgos del profesor Sthal, que había muerto mucho antes, en 1734. La sentencia fue condenatoria a morir en la hoguera. El juez acabó entregando al delincuente (el texto del profesor Sthal sobre el flogisto) al verdugo, que era la esposa de Lavoisier, vestida de blanco como una sacerdotisa que alzó el libro para dejarlo caer a continuación y hacerlo pasto de las llamas. ¿Vanidad pura? Pues eso. Hay que saberlo.





## TRAZO 3.17

## La antimateria a examen

En algunos ámbitos suena a esotérico hablar de antimateria. Se concibe propio de la ciencia ficción y en ambientes intelectuales competentes, cuando menos, se refiere como una faceta de la que no sabemos casi nada o, como mucho, conocemos poco y resulta inaprensible y, quizás, sea un constructo de los científicos que la introducen para encajar sus especulaciones. Pero, nada más lejos de la realidad. Hoy se trabaja con la antimateria y se trata de caracterizarla, sobre todo de forma diferencial, lo que debe conducirnos a desentrañar su realidad.

Si el Universo nació con las mismas cantidades de materia que de antimateria, debería haberse aniquilado. No sucedió. De siempre se ha pretendido encontrar la diferencia entre materia y antimateria que explique por qué no sucedió. También se ha conjeturado con diferentes propiedades magnéticas, pero se ha comprobado que son idénticas. Los átomos normales formados por electrones (cargados negativamente) y núcleos con carga positiva, son diferentes de los de antimateria que tienen núcleos negativos y electrones cargados positivamente (positrones). El Big Bang debió producir iguales cantidades de ambas pero, de ser así, se debió destruir. Paradójicamente, el Universo está constituido por materia y es difícil dar con la antimateria. Se han analizado diferencias de carga y, también, se ha analizado el magnetismo. Las propiedades magnéticas son idénticas. Tiene que haber alguna asimetría en alguna parte, una ruptura de la simetría.

*Es importante conocer la antimateria para desentrañar la realidad.*

*De siempre se ha pretendido encontrar la diferencia entre materia y antimateria.*

*La antimateria es inestable.*

tría. El momento magnético es el mismo, pero de signo contrario. En resumen, carga, masa y otras propiedades de la materia y la antimateria se cancelan y lo mismo ocurre con los momentos magnéticos. Hay que tener en cuenta que la antimateria es muy inestable y desaparece en cuanto toca la materia normal. Es por ello que tuvieron que desarrollar técnicas sofisticadas como capturarla en trampas de Penning, que almacenen las partículas en campos magnéticos y eléctricos especializados. Protón y anti-protón dan el mismo resultado.

*En el experimento ALPHA se ha observado la estructura hiperfina del antihidrógeno.*

En el experimento denominado ALPHA, que se desarrolla en el decelerador de antiprotones del CERN, hace unos meses se elaboró un informe sobre la primera observación de la estructura hiperfina del antihidrógeno, empleando espectroscopía de microondas. La línea de 21 cm se observa frecuentemente en el Universo. La observación de esta línea en el átomo de hidrógeno supuso el nacimiento de la radioastronomía. Se observó en 1951 por primera vez por Ewen y Purcell, en Harvard y Hulst predijo en 1944 que la línea debería ser observable en emisión. Esta radiación de 1420 Mhz es capaz de atravesar las nubes de polvo galáctico y permite caracterizar a las propias estrellas, dado que la luz visible de éstas no es capaz de penetrar las nubes de polvo. Corresponde a la transición entre los dos niveles de espín del estado fundamental del átomo de hidrógeno, que se desdobra, gracias a la interacción entre el espín del electrón y el del núcleo. Este desdoblamiento es muy pequeño, dado que la energía del estado fundamental del átomo de hidrógeno es de -13.6 eV, y resulta ser de tan solo dos partes por millón (5.8 micro eV). Supone pasar de espines antiparalelos a paralelos, que tienen una energía ligeramente superior.

*La línea de 21 cm se observa frecuentemente en el Universo.*

La empresa es increíblemente ambiciosa. La teoría dice que no hay diferencias con la materia. Se trata de comprobar si hay o no diferencia. La proeza tecnológica es disponer de átomos de antimateria. Hay que crearla y mantenerla mientras se miden las líneas. En el PET (tomografía por emisión de positrones) se emiten los positrones y, por tanto, hay antimateria. Otra cosa es crear un átomo y mantenerlo. Con 8 o 10 átomos se pueden lograr obtener medidas. En Ángeles y Demonios, de Dan Braum se pretende destruir el Vaticano con antimateria, curiosamente. Imaginación no suele faltar. En la realidad se estudian tránsitos. En un tránsito tiene lugar un cambio. Hay dos configuraciones en el átomo de hidrógeno y el electrón va tomando distintos valores del número cuántico principal. Son las transiciones más energéticas. Cuando cambian de espín, se generan diferencias en las configuraciones: la antiparalela tiene un poquito más de energía. Corresponde a la energía de un fotón de 21 cm, necesaria para hacer el cambio. El espín es un concepto "alucinante", como diría el castizo. El espín tiene que ver con la simetría rotacional de la materia, de las cosas. Cuando se pensaba en el átomo como si fueran bolitas, era cierta la imagen de esos giros. Hoy no lo es. Esa imagen no corresponde. Pensar que un espín  $\frac{1}{2}$  significa que se necesita media vuelta para coincidir con la posición inicial, es una visión errónea. Viene a ser una expresión de cómo se acopla la materia con los campos magnéticos. El tema tiene alcance. Los electrones cambian de espín para acoplarse con el núcleo y éste hecho es el que se refleja en la estructura hiperfina.

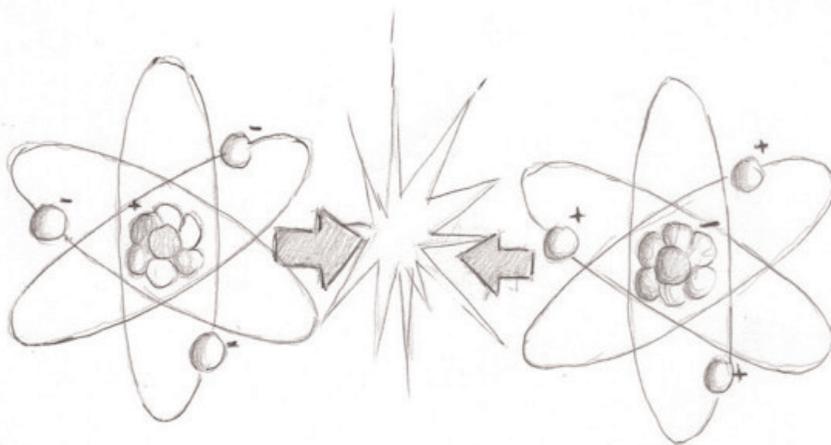
*Se precisa disponer de átomos de antimateria.*

*Los electrones cambian de espín para acoplarse con el núcleo y éste hecho es el que se refleja en la estructura hiperfina.*

El interés de estudiar este tránsito, como cualquier otro, es la comparación entre materia y

*El tránsito de 21 cm es el que permitirá comparar materia y antimateria.*

antimateria, tratando de averiguar si hay diferencias. Ya en 2012 el experimento ALPHA demostró, por vez primera, que se disponía de habilidad técnica para medir la estructura interna de los átomos de antimateria. En 2016 se informó de la primera observación de una transición óptica de antimateria. Exponiendo los átomos de antimateria a microondas de una frecuencia precisa, hace unos meses, el equipo del CERN ha inducido transiciones pertenecientes a las transiciones hiperfinas. Midieron dos líneas espectrales del antihidrógeno y observaron la diferencia comparando con las líneas equivalentes del hidrógeno. Utilizando técnicas de atrapamiento consiguieron disponer de 74 antiátomos, con lo que mejoraron la precisión de las medidas y es de suponer que en un futuro próximo dispondremos de elementos que caractericen a la antimateria de forma más precisa y convincente. Se trata de comprender como evolucionó el Universo en el que vivimos, un argumento cabal de por qué existimos nosotros y todo cuanto nos rodea. Son interrogantes vitales que se resisten, pero los científicos no cesan en el intento.



4/9/20



## La Ciencia, útil en sí misma

Desde luego somos gente de suerte. A poco que hagamos cuentas de cómo es que estamos vivos, concluiremos en una cadena de acontecimientos, extensa, muy larga, gracias a los cuales hoy podemos contarlos. De no haberse puesto de acuerdo Esparta y Atenas y haber vencido a las tropas de Darío, Occidente sería otro bien diferente. Nuestra cultura no podría ser grecorromana. Hubiera ocurrido otra cosa, incluso que no hubiéramos tenido la suerte de existir hoy nosotros. No lo son menos, la cadena de causalidades (¿casualidades?) biográficas de todos y cada uno. En el mismo momento de la concepción, nuestro ADN se generó dando origen, posteriormente, a nuestra conciencia, multiplicando por una cifra de muchos ceros (trillones de veces) lo que un instante antes tenía probabilidad nula. Nuestro destino, desde ese mismo instante, no fue el de un embrión desechado, como una buena parte de los embriones que finalizan en aborto sin percatarse sus propias madres. Adquirió probabilidad medible de que llegáramos a ser persona. Una vez ya con vida, nuestra existencia presente está suspendida de una cadena tejida con la seda de la causación, de la que somos ignorantes, sin saber nada de lo que viene como futuro, ni siquiera de lo que aconteció con anterioridad.

*Somos gente de suerte.*

*Nuestra existencia está suspendida de una cadena tejida con la seda de la causación.*

Pensemos que el Universo tiene unos 13.800 millones de años, es decir ¡más de cien millones de siglos! Nosotros, rara vez llegamos a cumplir uno. En todo caso, ahora es el momento de este siglo, nuestro nuestro. Siempre ha

*"Este es nuestro siglo".*

habido un momento para el "presente siglo", aunque todos distintos, deslizándose a través del tiempo. Los anteriores "presente siglo" murieron, y ahora le toca a éste. Fuera de otras consideraciones (que las hay abundantes para tenerlas en cuenta), la probabilidad de que pudiéramos decir que "este es nuestro siglo" a priori, fue extremadamente pequeña, 1 entre cien millones. La gran suerte es que podemos contarlo.

*Es muy improbable con la velocidad a la que hoy podemos viajar que podamos encontrar un planeta con vida.*

Concomitante con lo anterior, vivimos en un planeta que ofrece unas características muy singulares para que se pueda dar la vida: agua, luz solar, vegetación, oxígeno, atmósfera, ..., en suma, vida. Reunir las condiciones que se dan para que la Tierra nos acoja en su seno, se estima en menor de una en un millón. La verdad es, que es bastante improbable con esa probabilidad tan baja, viajar por el espacio y encontrar un planeta entre ese 1 por millón que tolerará la vida. Con las velocidades que podemos alcanzar, en este momento, es muy improbable que podamos encontrar quien nos acoja. Pensamos que nuestra presencia en el planeta supone que hemos sido de esos poquísimos que han encontrado ese vergel en el que habitar. Nos hemos despertado como si se tratara de haber efectuado un largo viaje y caer en el planeta de nuestros sueños. ¡Fantástico! No cabe duda de que somos unos privilegiados. En este planeta se han reunido las condiciones para que se desarrolle la vida... y ha acontecido. Somos afortunados. Podemos aventurarnos, como diría Dawking, a *"poder comprender por qué nuestros ojos están abiertos y por qué ven lo que ven, en el corto espacio de tiempo de que disponemos antes de que se cierren para siempre"*.

Pero, esa comprensión a la que aludimos es la que nos ofrece la Ciencia. El conocimiento acumulado a lo largo de la Historia de la Humanidad, formalizado, normalizado y asimilado, ha pasado a conformar el acerbo cultural en el que se van dilucidando las leyes que rigen la Naturaleza en la que estamos insertos. La Ciencia explica, cada vez con mayor profundidad, el aparente e insondable mundo desconocido en el que vivimos. Y su utilidad radica, precisamente, en eso: aprehendidas las normas (las leyes que rigen al mundo natural), podemos dominarlo, predecirlo, en gran medida reproducirlo y mejorarlo. Desgraciadamente, también, empeorarlo, como queda patente con la actual y cada vez más dramática situación de la incidencia antrópica sobre el clima, que nos amenaza, con talante destructivo, con vengarse

*La Ciencia explica, cada vez mejor, el mundo en que vivimos.*

La Ciencia es útil en sí misma. Cualquier nuevo conocimiento desvelado es susceptible de convertirse en elemento de alguna herramienta que en el futuro permitirá incrementar más el conocimiento y resolver nuevos problemas. Hay muchas anécdotas en torno a esta cuestión. Se atribuye a Faraday o a Franklin una escena en que le preguntan "*para qué servía la Ciencia*" y la contestación fue "*¿para qué sirve un niño recién nacido?*" El potencial de futuro del recién nacido es sinónimo del prometedor futurible que encierra cualquier nuevo conocimiento que la Ciencia desvela. Dirac formuló la versión relativista de la Mecánica Cuántica y su propuesta encerró una predicción sobre los positrones, conjetura en su época y pronosticado por el mismo Dirac como poco probable de que se detectara en el futuro. Hoy es la base del PET de tan amplia utilización diagnóstica en medicina. Hay muchas

*La Ciencia es útil en sí misma.*

*Dirac, el PET y la conjetura sobre los positrones.*

*No tendrían sentido las comodidades y confortabilidades y utilidades de no ser por su incidencia en la vida.*

otras anécdotas al respecto. Internet es fértil en curiosas circunstancias. En todo caso, vale la pena hacer la reflexión sobre la insistente exigencia de que la Ciencia tiene que ser útil, entendido éste como elemento de ayuda a la persona para hacer más confortable y amable la vida. Quizás, por tanto, debería ser una exigencia de la propia vida, el vivirla, al menos en cierta medida. Ningún sentido tendrían las artes, las comodidades, las confortabilidades y las utilidades de no ser por su incidencia en la vida. Superada la fase de vivir de nuestros más lejanos ancestros, defendiendo comida y espacio frente a los restantes elementos concurrentes, el logro de la civilización es vivir bien. América no se conquistó para vivir, sino para vivir bien. La búsqueda de la especias configuraron esta segunda característica. Después, sabemos que se desbordó, casi todo. La Ciencia posibilita vivir mejor. Es útil. Se paga su inversión con creces. Pero hay que disfrutarla en vida. De no ser así, ¿para qué podemos estar aquí? Un equilibrio ponderado, justifica el viaje. Vemos lo que vemos, gracias al trabajo de muchos que se empeñan en desvelar qué es lo que vemos. Contribuir a ello es magnífica ocupación. Para poder verlo hay que estar en esta vida. ¡Y eso es importante! ¡Y corto!



T/1/10/10



## TRAZO 3.19

## La civilización del agua

Al conjunto de las distintas formas que presenta el agua en la Tierra, se denomina Hidrosfera. En el agua apareció la vida, evolucionó inicialmente y hoy se sustenta en ella. Los procesos bioquímicos implicados en la vida transcurren en disolución acuosa y tanto el transporte de los nutrientes, como el de las excreciones tiene lugar sobre ella. En nuestro cuerpo alcanza en torno al 70% y en algunos animales y plantas llega a superar el 90%. El agua transporta materia y energía. Es un medio de transporte cualificado: solubiliza componentes minerales que arrastra hasta el mar y/o los deposita en lugares lejanos al origen. De forma parecida, disuelve componentes atmosféricos gaseosos y los deposita sobre la Tierra o en el mar. Transporta los nutrientes desde el suelo a las plantas y constituye el soporte básico para la distribución de los componentes de los nutrientes por los sistemas internos de los animales y las personas. Pero además del transporte de materia también transporta energía, dado que absorbe energía solar por todas las aguas, en gran cantidad por las aguas oceánicas, en forma de calor latente de vaporización, que después es devuelto a la Tierra en forma de lluvia. No hay duda alguna de que la energía potencial del agua acumulada en una presa, proviene de la transformación de la energía suministrada por el Sol que ha provocado la evaporación y se ha acumulado en el agua que forman las nubes.

*En el agua apareció la vida.*

*El agua transporta materia y energía.*

*El agua es el soporte básico para distribuir los nutrientes por los sistemas internos de los animales y las plantas.*

Por otro lado, ha sido el agua concretada en la calidad y cantidad de la misma, la que ha

*Para Vitrubio el agua era imprescindible para la vida.*

*Roma dominó las técnicas de tratamiento del agua.*

*Las aguas contaminadas provocan muchas enfermedades.*

determinado el bienestar individual de las personas, en función de la disposición que ha disfrutado de aquélla. Ha tenido que ver directamente con el desarrollo y el declive de las civilizaciones. Los asentamientos venían condicionados por varios factores, entre ellos los relacionados con la defensa, pero el más determinante era la disposición de agua para satisfacer el abastecimiento humano y las actividades que la requirieran. Vitrubio mantenía en alguno de sus diez libros de Arquitectura, que "*el agua era imprescindible para la vida, para satisfacer necesidades placenteras y para el uso de cada día*". Roma dominó las técnicas de tratamiento de este recurso y desarrollo procesos y construcciones hidráulicas, como ninguna civilización anterior fue capaz de hacer. El almacenaje y la conducción mediante los acueductos son obras que han dejado huella en la Humanidad, como podemos hoy contemplar.

Desde los primeros asentamientos y aldeas, uno de los problemas más importantes ha sido la contaminación del agua de beber con excrementos de las personas o animales. Las enfermedades como el paludismo o las fiebres tifoideas han provocado millones de muertos. Hoy, como se deduce del informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas, las aguas contaminadas provocan en torno a 2.000 millones de diarreas con unos 5 millones de muertos, 3 de ellos niños. En los Estados Unidos se estima que 53 millones de personas beben agua contaminada con metales pesados, bacterias fecales o sustancias químicas. La contaminación del agua dulce por desechos inadecuados y la destrucción de la vida salvaje por la contaminación persisten y se agravan. Las actividades humanas (transporte, alimenta-

ción, etc) han impulsado el desarrollo, afectando a los ciclos hidrológicos, de los cuales el agujero de la capa de ozono y el efecto invernadero son ejemplos ilustrativos. Pero no solo son estas incidencias, sino otro factor más importante, ya que con excepción de los insectos, más del 65% de las especies animales viven en los mares y océanos. Esto implica que una gran parte de la vida radica en el agua y se requiere un conocimiento del medio acuático, porque hay que valorar hasta qué punto los mares y océanos son capaces de absorber los productos antropogénicos sin repercusiones dañinas y, en todo caso, cómo restaurar el balance ecológico para normalizar las actividades fotosintéticas y respiratorias en aguas contaminadas. Por último, consideremos que los océanos juegan un papel fundamental en el control del clima, ya que son los amortiguadores del efecto invernadero consecuencia del dióxido de carbono, porque el sumidero natural es aquél. Necesitamos conocer la química de los océanos que está en sus inicios, de forma que fundamentemos el uso racional y sostenible de sus recursos, que resultan ser decisivos para el futuro nuestro y de nuestro Planeta. ¡No es ninguna broma!

*Más del 65% de las especies viven en mares y océanos.*

*Los océanos juegan un papel fundamental en el control del clima.*



M Requena

## TRAZO 3.20

## La envoltura de los fotones

Todo el mundo conoce los efectos de la luz. La visión es algo fundamental en la percepción del entorno, en la elaboración del pensamiento y en la construcción del conocimiento. Es difícil concebir el entorno privado de la visión. Pero una cosa es percibir y otra bien distinta explicarlo. El mundo científico ha tenido que concebir un modelo para tratar de explicarlo. Primeramente, Maxwell propuso considerar a la luz como una onda electromagnética, es decir, un campo eléctrico y uno magnético, oscilantes y perpendiculares. Las propiedades observables en el mundo macroscópico, que es el nivel en que a los humanos nos ha situado la evolución, las propiedades e interacciones de la radiación con el entorno, resultaba bien descrito. Otra cosa fue, cuando se tuvo que enfrentar la teoría de Maxwell, con procesos como los implicados en la espectroscopía de los átomos. El nivel ya no se corresponde con el genuinamente humano, sino que ahora es microscópico, entendiendo por tal un entorno sumamente pequeño, como el propio de las moléculas y átomos y sus interacciones. La teoría de Maxwell ya no daba respuestas apropiadas. Esta situación supuso un acúmulo de hechos, para los que no había explicación e impulsó la formulación de la teoría Cuántica de la radiación. Einstein denominó fotón a la partícula que Planck asoció a la radiación en una concepción particular (de partícula). El fotón es una partícula sin masa en reposo, pero no por ello no tiene forma. Los pulsos de radiación pueden tener cualquier forma, tanto en el espacio como en el tiempo, en función de las ampli-

*Maxwell propuso considerar la luz como una onda electromagnética.*

*Einstein denominó fotón a la partícula que Planck asoció a la radiación.*

*Bellini ha encontrado la forma exacta de medir el estado de un fotón.*

*Se puede recuperar la información codificada en la forma de un fotón.*

tudes y las fases de los componentes de la frecuencia del pulso. Modulando la amplitud o la fase, se pueden codificar los pulsos de radiación. Del mismo modo, los fotones simples, únicos y otros estados de la radiación, se pueden generar con formas complejas y esto, entre otras cosas, amplía notablemente la capacidad para codificar información en esas distintas formas. Se puede asociar una forma del fotón a un signo del alfabeto, por ejemplo y transmitir información textual de esta manera. Del mismo modo, se pueden tratar las unidades de imagen o píxeles para su transmisión y tratamiento. Sin embargo, cuando se ha lanzado un fotón desde algún dispositivo se puede distorsionar e incluso la información que porta, convertirse en indescifrable. Marco Bellini y col., del Istituto Nazionale di Ottica en Florencia, han encontrado la forma de medir la forma exacta de un estado de un fotón cuando alcanza al receptor, mediante un detector de "modo selectivo". Mezclan el fotón a medir con un pulso láser intenso, que actúa de referencia u "oscilador local". Fotón y fotones del láser interfieren y se refuerzan o anulan, en función de sus formas. Cuanto más próximos estén, más se reforzarán y más probable será detectarlo. Así, mediante prueba y error se van utilizando formas aleatorias para el oscilador local, hasta encontrar los que mejor se detectan. La mejor coincidencia es la que se toma como forma del fotón. El proceso es como si se tratara de una adaptación evolutiva.

La importancia que tienen estas investigaciones es que podemos recuperar la información codificada en la forma de un fotón. Hasta ahora, los experimentos de óptica cuántica manipulaban y detectaban estados cuánticos de la radiación en uno o unos pocos modos

bien definidos. De hecho, los protocolos de comunicación cuántica, la denominada criptografía cuántica, emplea las diferentes direcciones de polarización de un fotón, por ejemplo, horizontal y vertical. Esto supone que se codificaba la información en dos posibles estados de los fotones y sus superposiciones, que es lo que viene denominándose "qubit" (de quantum bit). Ahora se dispone de todo el modo espacio-temporal, con lo que la cantidad de modos ortogonales que puede ocupar un fotón es ilimitada. La capacidad de cálculo se ve incrementada de forma espectacular.

*El número de estados ortogonales que puede ocupar un fotón es ilimitado.*

Pero otro aspecto de interés derivado de la forma de los fotones es un interrogante al que no se le ha prestado atención, durante mucho tiempo, pero que ahora adquiere protagonismo, desde que hace bien poco se ha reparado en que los fotones que provocan un aumento de la energía no son iguales a los que provocan una caída de aquélla. La cuestión no es baladí, por cuanto nos podría ayudar a construir dispositivos con finalidades bien caracterizadas.

*Los fotones que aumentan la energía no son iguales a los que la disminuyen.*

El que un fotón tenga una dimensión, contrasta con el tamaño del átomo sobre el que incide. Imaginemos que el fotón sea de 4 metros de longitud y que un átomo ocupe menos de 1 nanometro. La forma del fotón afectará a cómo se absorbe ese fotón por un átomo único, sólo. El investigador Kurtsiefer, de Centro de Tecnologías Cuánticas de la Universidad de Singapur ha evidenciado en una publicación en la prestigiosa revista Nature, que la caracterización de un fotón no radica, solamente en la frecuencia del mismo. No es corriente que se piense en si los fotones están o no dispersos tanto en el tiempo como en el espacio, pero

*La forma del fotón afectará a la forma en que un átomo lo absorbe*

*Hay dos formas extremas de fotones.*

*La probabilidad de absorción de un fotón depende de la forma.*

esto implica, sin duda, que tienen una forma medible. Kurtsiefer y col. trabajaron con átomos de rubidio y fotones infrarrojos, lanzando éstos, uno a uno, sobre un único átomo alcalino, para investigar la interacción fundamental entre radiación y materia. Por ejemplo, un fotón de cuatro metros de largo, empleaba unos 13 nanosegundos en pasar sobre un átomo. Cada vez que el fotón alcanzaba a un átomo, observaban qué ocurría y cuándo resultaba excitado el átomo. De aquí dedujeron la probabilidad de que el átomo absorbiera el fotón y obtuvieron una función del tiempo del proceso. Investigaron dos formas extremas de fotones: uno que cedía energía y otro que provocaba una disminución de la misma. Tras muchas medidas efectuadas, obtuvieron la probabilidad total de absorción de un fotón. Así pues, un equipo internacional de investigadores ha logrado medir la forma de los fotones individuales, por primera vez. El resultado podría resultar muy útil para la transmisión segura de datos, utilizando la luz emitida por un átomo de rubidio, por ejemplo. Pero la conclusión más prometedora fue que cuando se observa el proceso a nanoescala de tiempo, la probabilidad de absorción depende, en cada uno de esos instantes, de la forma del fotón.

Cuando el fotón apenas alcanzaba al átomo, (vagamente, desde el punto de vista del átomo), entonces finalizaba en excitación, aumentando la energía, el brillo, y el pico de probabilidad llegaba a ser un 50% más elevado que cuando el fotón lo alcanzaba brillante y teniendo una larga estela que se debilitaba poco a poco. Los investigadores suponían que los átomos preferían absorber los fotones que los excitan. La razón es lo que ocurre, naturalmente, cuando un átomo que se ha excitado se

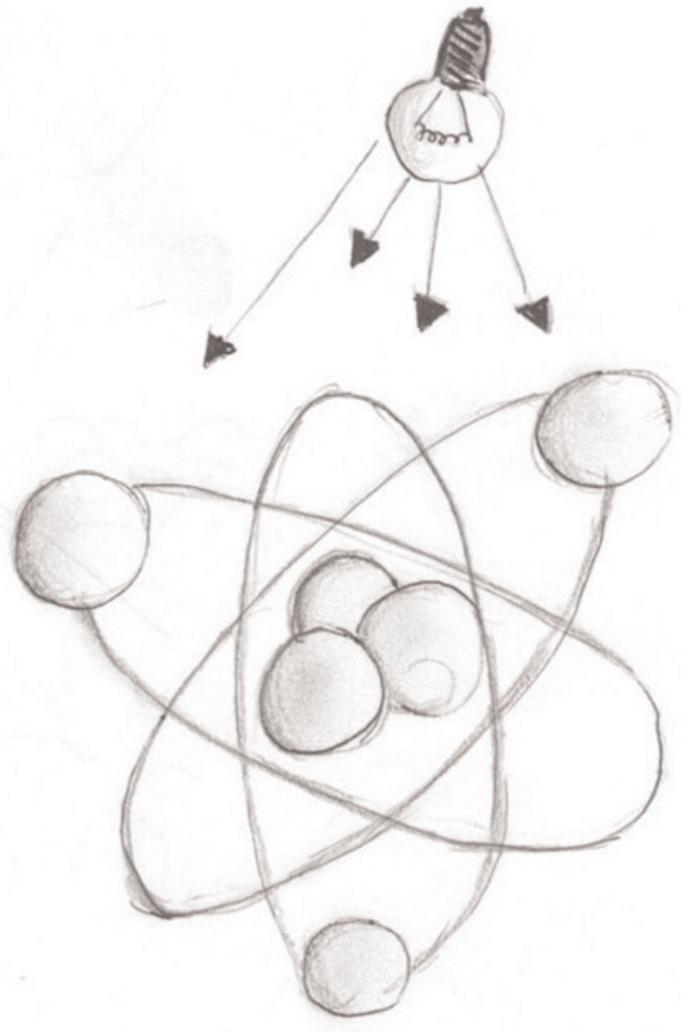
desexcita, ya que entonces el átomo "escupe", por así decir, un fotón que provoca decaimiento energético. Si imaginamos el proceso inverso, las ecuaciones nos dicen que parecería que ocurría lo mismo y el átomo se manifestaría con brillo creciente. La incidencia de la forma del fotón se inspira en la simetría con respecto al tiempo de la Mecánica Cuántica. Es importante señalar, que en alguna de las aplicaciones de la tecnología cuántica, como son las redes de comunicaciones o los sensores o los ordenadores, requieren que un fotón "escriba" información en un átomo, por tanto, absorbiendo aquél. El fotón golpea al átomo llevándolo a un estado excitado. Si queremos construir dispositivos fiables, hay que controlar científicamente la interacción. Solamente se puede construir desde la ingeniería aquello que se comprende. Así son las cosas.

*Los átomos prefieren absorber los fotones que los excitan.*

*Hay que controlar la interacción.*

En suma, la dinámica de la dispersión de la radiación, depende de la envoltura en la que viaja el fotón concreto que llega a un átomo, que resultará excitado más eficazmente por un fotón con una envoltura temporal creciente, que cuando lo hace con una decreciente. La ventaja de excitar átomos únicos con fotones exponencialmente crecientes es una probabilidad de excitación que corresponde a un pico grande, alto, en un intervalo de tiempo muy estrecho. Supone, en suma, una sincronización que beneficia a las redes cuánticas. ¡Hay que guardar las formas y las envolturas, se revelan decisivas! La envoltura, también cuenta, como la de los reyes magos cuando pasan.

*La dinámica de la dispersión de la radiación depende de la envoltura en la que viaja el fotón concreto que alcanza el átomo.*



*Handwritten signature or initials.*





## TRAZADO 4

### LA ARMONÍA EN LA NATURALEZA

- 4. Introducción. -117-
- 4.1. La Historia nuclear del Universo. -119-
- 4.2. La magia de los números. -123-
- 4.3. La marca Ciencia. -127 -
- 4.4. La Naturaleza ama la doble negación . -133-
- 4.5. La pregunta científica es cómo. -137-
- 4.6. Las mas,...concinnitas. -143-
- 4.7. Las moléculas interfieren. -149-
- 4.8. Láser y fusión. -153-
- 4.9. Límites e incentivos para el conocimiento. -157-
- 4.10. Limpieza solar del agua. -161-
- 4.11. Lo esencial de nuestra existencia. -165-
- 4.12. Lo que cae del cielo. -169-
- 4.13. Luz, color y fotograma. -175-
- 4.14. Macro y micromundo. -181-
- 4.15. Máquinas inteligentes. -187-
- 4.16. Masa negativa. -193-
- 4.17. Memoria cuántica en fotones. -199-
- 4.18. Menos trabajo para Dios. -205-
- 4.19. Metabolómica y vegetales orgánicos. -209-
- 4.20. Moléculas ultrafrías. -213-
- 4.21. Moléculas y música. -219-
- 4.22. Muchos átomos y moléculas. -225-

## TRAZADO 4

### La armonía en la Naturaleza

La Historia de la Humanidad se escribe en las líneas que van desvelando los misterios escondidos que la Naturaleza preserva. Poco a poco, la observación ha ido provocando la reflexión que ha ido fomentando las propuestas que pudieran explicar los resultados de las observaciones. Las hipótesis permiten contrastar si lo que se propone es correcto y sirve para explicar los fenómenos que se analizan. El mundo de las teorías surge cuando las hipótesis se consolidan y se puede construir un cuerpo de leyes capaz de permitir que se pronostiquen los comportamientos de los sistemas que se estudian.

El intento de desentrañar las leyes que rigen en la Naturaleza, ha ido construyendo un sustrato en el que se ha podido aplicar el método deductivo, toda vez que ha alcanzado el status que permite confiar en

*La Naturaleza preserva secretos.*

*La Ciencia trata de desvelarlos.*

*El conocimiento se construye a partir de inducción y deducción, como métodos acreditados.*

*Los paradigmas se suceden en una evolución constante de la concepción del Universo.*

*La Naturaleza aparenta haberse entregado acabada, pero la evolución continúa.*

las predicciones de la teoría. Pero no es menos cierto que el método inductivo es el que ha permitido dar rienda suelta a la intuición, con la que se han introducido nuevas formas de analizar, estudiar y reflexionar dando origen a nuevos paradigmas que han venido a sustituir a los ya instalados y contrastados.

La aparición y sustitución de unos paradigmas por otros, forma parte de la esencia de la Ciencia. Nunca hay nada definitivo. No por ello hay ambigüedad. Cuando las leyes conocidas se ven incapaces de rendir cuenta de los fenómenos encarados, hay que dar rienda suelta a la imaginación, para encontrar las alternativas que permitan reinterpretar los fenómenos, orientar las observaciones y dar explicación cabal de los fenómenos a la vista de las nuevas aportaciones.

La Naturaleza parece habernos dado totalmente construida, acabada, finalizada. Es probable que el concepto evolución no se limite a los seres vivos. El Universo ha evolucionado. Nosotros con él. Sí es cierto que la armonía parece ser el leiv motiv que dirige e induce la evolución. En esa armonía se desarrolla cuanto conocemos. Las desviaciones acaban por arribar a nuevos estados en los que la armonía caracteriza la estabilidad. No es extravagante considerar que el Universo es una gran obra armónica y que como tal sonó y suena, también ahora.

## TRAZO 4.1

## La historia nuclear del Universo

Tras el descubrimiento por Becquerel de la radiactividad en 1896, se desplazó el foco de la Ciencia hacia la energía nuclear. Aston concluyó en 1920 que cuatro núcleos de hidrógeno eran más pesados que un átomo de helio. A partir de ello, Eddington sugirió que la energía del Sol proviene de la conversión de hidrógeno en helio, con lo que esta liberación de energía de enlace, debía ser la forma mediante la que las estrellas producían la energía. Se avanzó en la comprensión de los núcleos atómicos con los experimentos de penetración de la barrera de Coulomb que llevaron a cabo Gamow, Gurney y Condon, con la intervención de Atkinson y Houtermans, que permitieron concluir que el efecto túnel juega un papel clave en la generación de energía en las estrellas, a través de la fusión nuclear.

*Becquerel desplazó el foco de la Ciencia hacia la energía nuclear.*

La primera fase en la historia nuclear de una estrella es la fusión de hidrógeno en helio, como producto final. Se identificaron dos vías para la fusión del hidrógeno: la denominada cadena protón-protón y el ciclo CNO. Estos trabajos fueron los pioneros y sentaron las bases de los estudios sobre producción de elementos en las estrellas, denominado teoría de la nucleosíntesis, que lideró el astrónomo británico Fred Hoyle. También, inspiraron el estudio de las abundancias en el sistema solar que llevaron a cabo Suess y Urey. Cuando se representó la abundancia frente a la masa, la distribución mostraba una curva compleja que abarcaba hasta 10 órdenes de magnitud, siendo hidrógeno y helio las especies más abundantes y un segundo pico que corresponde al hie-

*La teoría de la nucleosíntesis.*

*Hidrógen y helio fueron los elementos mas abundantes.*

*Las estrellas cocinan los elementos cósmicos.*

*La nucleosíntesis sigue operando hoy.*

rro situado a 1/10000 de abundancia y más allá se encuentran, en zonas de abundancia mucho más baja, los elementos más pesados. La presencia de varios máximos se atribuyó a efectos propios de física nuclear, como la existencia de núcleos fuertemente enlazados, como el  $^{56}\text{Fe}$  o el papel de las configuraciones de capa cerrada dispuestas según los "números mágicos" de nucleones, 50, 82 y 126.

Las estrellas aparecen como los lugares probables donde se "cocinan" la mayoría de los elementos cósmicos. La detección del tecnecio en el espectro de varias estrellas gigantes, lograda por Merrill en 1952, así lo atestigua. El Tecnecio es el elemento más ligero que no tiene isótopos estables. Como su forma de mayor vida media, el  $^{98}\text{Tc}$ , realmente tiene una vida media corta, que es de 4.2 millones de años y, por tanto, se debió generar, probablemente, in situ en las estrellas. Si se compara este dato con la edad de la galaxia, cifrada en 10.000 Megaaños, concluiremos que la nucleosíntesis se sigue produciendo en estos momentos. Curiosamente, los artículos que propusieron la nucleosíntesis se publicaron en 1957 (Hoyle y col. y Cameron), casi un siglo después de que Darwin tratara el origen de las especies biológicas. Ha transcurrido más de medio siglo y ha florecido la astrofísica y la astroquímica nuclear, como una disciplina multidisciplinar con el foco puesto en la comprensión de la producción de energía en las estrellas y el origen de los elementos químicos del Universo. Desde la astrofísica computacional y teórica, la cosmoquímica y la física nuclear se ha desencadenado una auténtica revolución de la historia nuclear del Universo. El empleo de los observatorios espaciales ha abierto nuevas

ventanas y hoy se puede estudiar el Cosmos con mayor rigor que nunca. Hoy se hacen estudios constantemente a partir de observaciones multi-frecuencias, como la incorporación en satélites de detectores Ultravioleta, rayos X y rayos gamma que junto con las observaciones desde telescopios ópticos y radiotelescopios situados en la Tierra, analizan el comportamiento de las estrellas y de sus explosiones a diferentes longitudes de onda. Paralelamente, la abundancia estelar se estudia espectroscópicamente y los cosmólogos disponen de ratios de abundancia isotópica a partir de granos micrométricos pre-solares extraídos de meteoritos. Esos granos se encapsulan y se obtiene una información sobre los procesos nucleares acaecidos en los procesos de condensación en estrellas lejanas y la traslación a anomalías isotópicas con respecto al material solar que forma la masa material del conjunto.

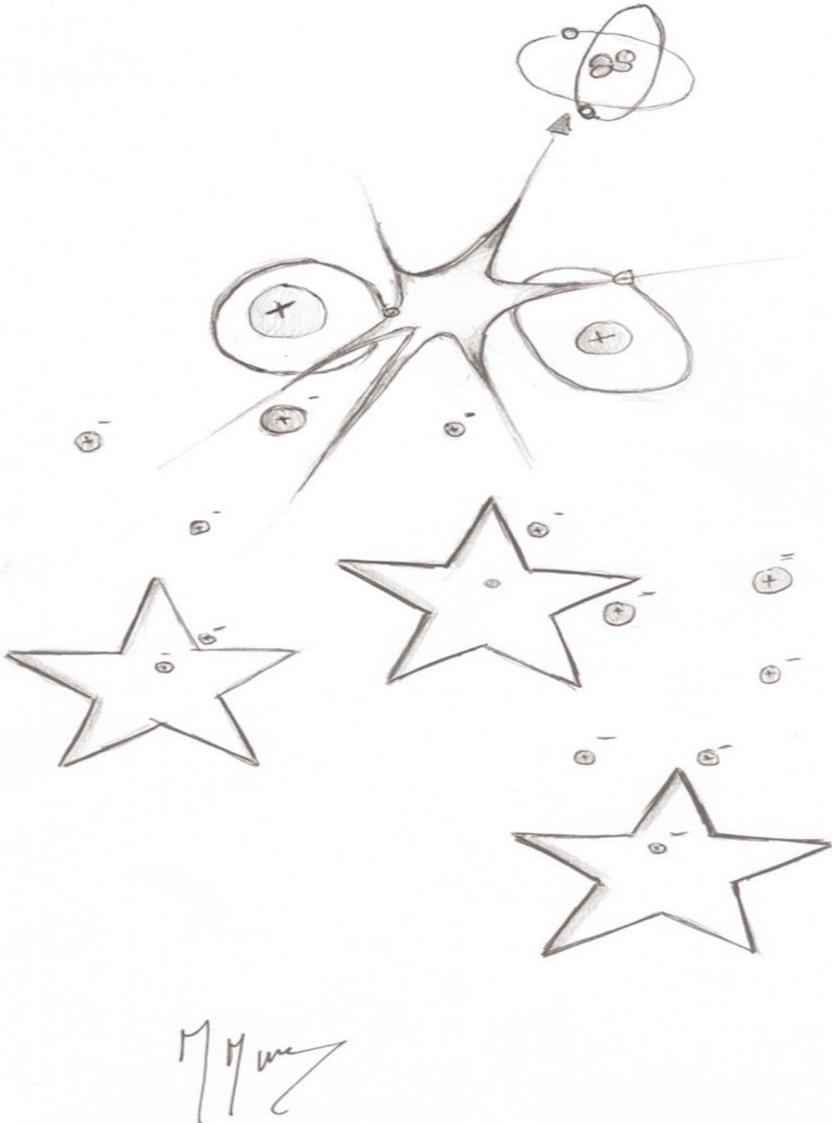
*Hoy se puede estudiar el Cosmos con mayor rigor que nunca.*

Gracias a los supercomputadores se ha podido abordar el estudio de fenómenos físicos complejos implicados en la nucleosíntesis, como el transporte de energía convectiva y radiativa mediante los fotones y los neutrinos, mezclando materia a través de flujos de convección o estimulados por la rotación estelar y la propagación de llamas en las estrellas. En Física nuclear se han desarrollado, también, nuevas técnicas experimentales y teóricas para determinar las interacciones nucleares próximas a las energías estelares, a la denominada ventana de Gamow, con lo que se ha reducido el problema asociado a la extrapolación de medidas de altas energías accesibles a un laboratorio de energías estelares. Así es como se han estudiado y explorado las propiedades de los núcleos muy lejos de la estabilidad de la materia a densidades nucleares alejadas de las

*Se han estudiado las propiedades de los núcleos muy lejos de la estabilidad de la materia a densidades nucleares alejadas de las usuales.*

*El ciclo Ciencia - Tecnología es un bucle retroalimentado.*

estándar. Así se aborda el estudio del Universo, desde las cenizas del Big Bang hasta su forma actual. Es todo un bucle de realimentación positivo por el que la Ciencia ampara la tecnología y ésta, a su vez, posibilita que la Ciencia llegue más lejos para, de nuevo, comenzar el ciclo.



## TRAZO 4.2

## La magia de los números

Los griegos solamente usaban los números naturales (1,2,3,...). Esto implica que no pudieron expresar todo cociente entre la diagonal y el lado de un cuadrado. Cuando el cuadrado tiene lado unidad, la raíz de dos, que es la diagonal, no se podía expresar y lo denominaron irracional. Esto tuvo la trascendencia de que se abandonó la teoría de la proporción de Pitágoras y hubo que elaborar otra nueva teoría.

*Los griegos solamente usaban los números naturales.*

Los números racionales, constituidos por los números naturales, los enteros, los decimales exactos, los periódicos puros y los periódicos mixtos, todos ellos se pueden expresar mediante fracciones. Si un número decimal no lo podemos expresar como periódico, sino que tiene infinitas cifras decimales, no se puede escribir como una fracción. Se les llama irracionales. Pero no demos por sentado que el mundo de los números está exclusivamente limitado a la razón. Cabe pensar que los sentimientos, las emociones y las religiones forman parte de ellos.

*El mundo de los números no está limitado a la razón.*

En la edad de piedra se dejó constancia en las cavernas de calendarios (entraña cálculos) relacionando estaciones con aparición de rebaños de animales. Era rudimentario. La relación con el cielo del calor del sol, la lluvia y el rayo era lo único que podía apreciar. Todo, bueno o malo, provenía del cielo: firmamento y calendario, objetos de culto y una relación entre el destino y la voluntad de los cielos. Las ofrendas y conjuros eran para influir en los dioses. Las calamidades eran debido a contrariedades de los dioses.

*En la edad de piedra, todo provenía del firmamento.*

*En Sumeria, Egipto y Babilonia, se relacionó la religión y el cálculo.*

*La división del año en 360 días permanece en la actualidad.*

*Surgió la devoción por el número 7.*

En Sumeria, Egipto y Babilonia se aportaron relaciones entre religiones y cálculo: administración, calendario, astronomía y astrología implicaban a matemáticos y sacerdotes. De aquí deriva el carácter sagrado sobrevenido a las cifras. El misterioso sistema sexagesimal de numeración de los babilonios tiene un trasfondo mitológico y práctico, ya que para establecer el planisferio se dividía el firmamento en secciones. El número 10 tiene el inconveniente de que los divisores son solamente el 2 y el 5. En cambio los divisores de 60 son 2,3,4,5,6,10,12,15,20 y 30, que permitía una descomposición en sectores del mismo tamaño mucho más amplia que el 10 y era más fácil hacer compatible la marcha de los astros. La división del año en el calendario babilónico en 360 días, también implicaba al número 60. Permanece, como sabemos en la actualidad, en las medidas trigonométricas y la división del tiempo.

Muy al contrario, surge la devoción por el número 7, indivisible y difícilmente adaptable al cálculo. Pero eran siete los cuerpos celestes observables a simple vista y representaban el orden cósmico divino. Ciertamente no es casual que los siete cuerpos tengan nombres de divinidades: Sol, Luna, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Dios bendice, según el Génesis, el séptimo día, en que descansó. En la Biblia también aparecen las cifras 10 y 12: diez mandamientos, diez plagas de Egipto, doce en Israel, doce Apóstoles, etc. Al 7 le dedica siete pecados capitales, las siete maravillas del mundo, los siete sacramentos, los siete mares, el sermón de las siete palabras,

Fue Tales el que comenzó a no anteponer una visión mística del mundo a los cálculos. Así surgieron los conceptos de materia, fuerza o energía. Pero también es cierto que se le otorgó a las cifras una componente sobrenatural y mitológica: la veneración de las cifras. El número 1 es el creador de los demás, las relaciones sencillas entre los números concretaban la proporción armoniosa de los sonidos producidos con cuerdas y de aquí se infirió que toda la armonía de la naturaleza provenía de una relación numérica, incluidas las órbitas de los planetas. La ironía fue que el propio teorema de Pitágoras fue el que cuestionó toda la teoría pitagórica. No consiguieron hallar una cifra o fracción que multiplicada por ella misma diera por valor 2. Se toparon con la cifra irracional. El pacto de no revelarlo los pitagóricos, bajo amenaza de muerte está detrás de la muerte en naufragio de Hiparco, que osó revelarlo. La parte mitológica la asumió el cristianismo y la significativa matemática se perdió poco a poco. Se eclipsó la Ciencia durante siglos. Solo cuando Kepler miró los cielos más allá de la religión, se despertó del terrible sueño y se pudo establecer que los planetas describen órbitas elípticas alrededor del Sol. Se inicio la pérdida de la magia de los números.

*Tales acabó con la referencia mística del mundo de los números*

*Las cifras se concibieron como una componente sobrenatural y mitológica.*

*Armonía de los sonidos y de la Naturaleza.*

*Se eclipsó la Ciencia hasta Kepler.*



M. M. Requena

## TRAZO 4.3

## La marca Ciencia

Resulta, cuando menos curioso, el uso y abuso que se practica de la referencia ciencia, científico y adjetivaciones que lo incluyen. En demasiadas ocasiones, generalmente relacionadas con la medicina, se habla con demasiada ligereza de sociedades científicas que amparan "científicamente..." cuando se quiere acreditar alguna propuesta y se le estampa la vitola de científica. Pero la etiqueta científica tiene mayores exigencias.

*Uso y abuso de la referencia a la Ciencia.*

Se confunde, por otra parte, Ciencia con quienes practican ésta. No es lo mismo, en ningún caso. Los científicos contribuyen al desarrollo de la Ciencia. Forman parte de un colectivo que voluntariamente dedica tiempo y esfuerzo para que la Ciencia progrese. Sus aportaciones la hacen crecer. Pero su actividad tiene reglas de conducta inapelables desde el punto y hora que solamente la veracidad de lo que describen descansa en las observaciones o hipótesis que formulan. Hay una clara separación entre hechos e interpretaciones de éstos. Los primeros solamente deben estar sujetos a la veraz descripción detallada que se hace de ellos. Las interpretaciones son libres. Las conclusiones, por tanto, pueden ser certeras o equivocadas. Los caminos por los que se llega a las distintas variantes descansan desde la precipitación en la interpretación de los datos, hasta la serendipia o la casualidad en la conducta asociada a la obtención de las tesis. Pero el cuerpo de conocimiento que la Ciencia va acumulando es un libro abierto y sin final escrito, en ningún caso. Cualquier mejora, reinterpretación o luz que pueda emerger de

*Hay una clara separación entre hechos e interpretaciones.*

cualquier nueva aportación es susceptible de desplazar a otra anterior, por muy bien establecida que estuviera. Esto es lo que hace que el avance científico sea inexpugnable.

*Es muy difícil que progresen las falsedades.*

No obstante, los vericuetos que en algunos casos emplean científicos deficientes que anteponen intereses espurios, se hacen notar en muchas ocasiones, también. Pero los mecanismos de la Ciencia aportan tal grado de seguridad al sistema científico, que es muy difícil ver progresar falsedades, propuestas dudosas o resultados erróneos o mal fundamentados. Es de suponer que el mal empleo se da, pero su existencia es efímera. Vamos a introducir un caso, recientemente acontecido, en el que la talla científica y de honestidad intelectual es un ejemplo de conducta científica impecable, que contribuye de forma decisiva a la marca Ciencia.

*El caso de la detección de las ondas gravitacionales.*

Hace más de un año que tuvo lugar la detección de las ondas gravitacionales, lo que supuso un acontecimiento muy singular para la comprensión del Universo, en la que anda la Humanidad enfrascada desde hace mucho tiempo. El 11 de febrero de 2016 tuvo lugar una conferencia de prensa organizada por la NSF (National Scientific Foundation) norteamericana, como principal agencia financiera del evento que reconocía la extensa colaboración internacional que había involucrado a más de un millar de científicos e ingenieros para lograr el éxito que se había alcanzado con la detección de las ondas gravitacionales. Pero si bien esto ocurría en febrero de 2016, mucho antes, en septiembre de 2015 es cuando había tenido lugar la detección, concretamente el día 14 de septiembre. Por tanto, el equipo de trabajo había efectuado un tiempo de análisis de cinco

meses, antes de dar a conocer públicamente el logro. Simultáneamente publicaron un trabajo en una revista científica. La colaboración de muchas instituciones en proyectos de elevada envergadura, hacen imprescindible la comunicación una vez contrastados los resultados, porque no hay que ocultar que se rinde cuenta y se otorga credibilidad de esta forma a la actividad científica.

No obstante, hay casos esporádicamente en que, aun así, se llevan a cabo anuncios precipitados o con carencias de contrastación. Un ejemplo lo tenemos en el proyecto asociado al telescopio de microondas BICEP2., ubicado en el Polo Sur, cuyos investigadores dijeron haber registrado las ondas gravitacionales correspondientes a los primeros signos registrables del Big Bang, acontecidos hace 13.800 millones de años. En el experimento se registra la radiación de fondo de microondas, es decir, el ruido de fondo que dejó el Big Bang en forma de partículas que siguen pululando por el Universo. La radiación de fondo que detecta comenzó a producirse cuando el Universo tenía 300.000 o 400.000 años ya que, antes de este momento, el Universo era oscuro, pues no había luz. Fue la inflación acaecida al tiempo  $10^{(-35)}$  segundos tras el Big Bang, fue la inflación la que generó las primeras ondas gravitacionales, de las que han quedado huellas. La señal es sumamente débil, pero sigue llegando a la Tierra constantemente. Los investigadores dijeron haber detectado un cambio de polarización de esa radiación de microondas que proviene del origen del Universo, es decir, habían detectado la orientación de las partículas. Concretamente calificaron la polarización encontrada como B, que solamente puede atri-

*En casos, hay anuncios precipitados*

*La inflación fue quien generó las ondas gravitacionales.*

*En la radiación de microondas se detectó la polarización.*

*Proyectos concurrentes garantizan los resultados finales.*

buirse a modificaciones que han sufrido las partículas al recorrer el enorme camino que les separaba de la Tierra y que los cambios observados se debían a la interacción con las ondas gravitacionales. Algo parecido a lo que ocurre con las ondas superficiales que se producen en un estanque cuando alguien tira una piedra. Los científicos del BICEP2 llegaban más lejos al afirmar que el tipo de polarización detectada solo podía proceder de un tipo concreto de onda gravitacional, muy débil y antigua, formada cuando tuvo lugar la inflación que es lo que supuso un crecimiento desmesurado del Universo que se cifra en 70 órdenes de magnitud y, además, aconteció en fracciones de segundo. La señal que detectaron en el proyecto BICEP2 que medía, como decimos, el fondo de microondas del Cosmos a una única frecuencia y en una parte restringida del cielo, lo convirtieron en la primera evidencia directa de la Inflación del Universo. Eludieron contactar con los científicos del proyecto PLANCK, que es una misión de la ESA (Agencia Europea del Espacio) que arrancó en 2009 y que está efectuando y registrando un barrido del Fondo de microondas del Universo, pero sobre toda la extensión del cielo y a un gran número de frecuencias, con una precisión sin precedentes. Además, se daba la circunstancia de que PLANCK, también registra la polarización del fondo de microondas del universo. A diferencia de BICEP2, tanto PLANCK, como LIGO o VIRGO, todos son proyectos de colaboración internacionales que mantienen un sistema severo de revisión interna que garantiza los resultados que anuncia.

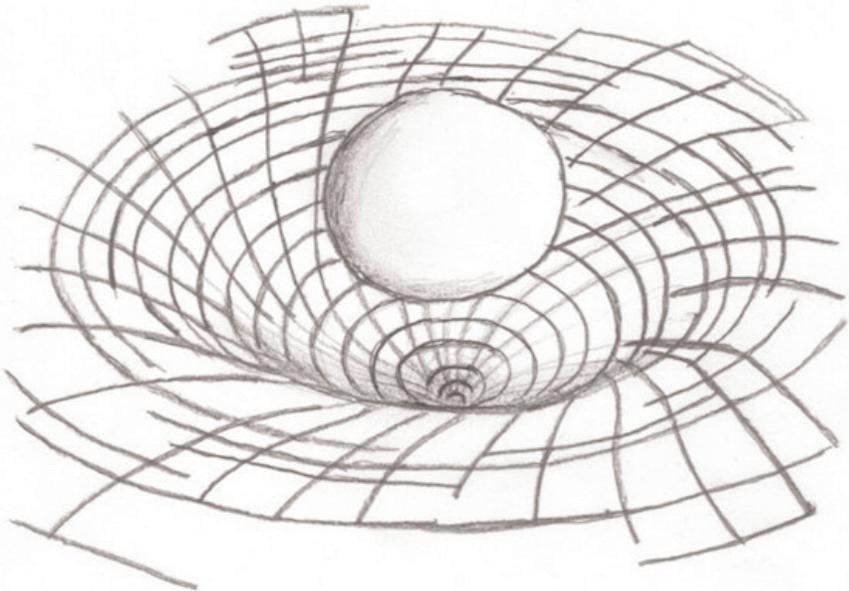
Sucedió que, tres meses después de que se anunciara el proyecto BICEP2 se publicó el primer trabajo revisado por pares, como usual-

mente acontece en Ciencia. Pero incluía una nota que decía que "amplias discusiones del borrador habían tenido lugar en la comunidad cosmológica". De hecho, dudas aparecieron y se expresaron aportaciones sobre el significado de los resultados que ofrecían. Miembros del proyecto PLANCK enfrascados con el problema, sugirieron llevar a cabo un análisis conjunto. Y de este modo, un artículo firmado por colaboradores de ambos proyectos, PLANCK y BICEP2 clarificaron que el significado de los datos de BICEP2 era "demasiado poco para ser interpretados como una detección de los modos B primordiales". Es decir, que se ponía en seria duda de que pudiera afirmarse a partir de las observaciones del proyecto BICEP2 que había evidencia de la inflación cósmica.

*El estudio conjunto permitió corregir errores.*

Esta es la gran aportación a la Ciencia y a la Marca Ciencia que nos debe alegrar y tranquilizar a propios y extraños, al mostrarnos cómo la Ciencia tiene resortes de garantía para asegurar la veracidad y que por complicado, lejano y distante que sea el campo de conocimiento, el mecanismo acaba evidenciando cual es el progreso cuando se da. La etiqueta Ciencia lleva, al final, a tomar en consideración los mejores datos de las más competentes observaciones y rectificar, cuando es preciso, porque la evidencia es un condicionante del avance científico. Todo ello aporta credibilidad a la Ciencia y referencia honorable de la marca Ciencia.

*La marca Ciencia tiene resortes de garantía para el conocimiento que se aporta.*



A Requena

## TRAZO 4.4

## La Naturaleza ama la doble negación

Cómo se generan las formas en los seres vivos es una incógnita científica que desvelará, cuando se logre explicar, una de las intimidades más espectaculares de la vida. Cuando miramos un olivo, observamos una forma determinada, reconocible sea joven o centenario. Nuestra nariz crece de forma típica para cada uno de nosotros y no sobrepasa unos límites. Durante toda la vida mantiene un patrón característico. El denominado auto-ensamblamiento, es el recurso del que se valen ciertas subunidades celulares y ciertos virus en su construcción. Cuando pasamos a estructuras macroscópicas, más complejas, desde un mosquito a un rinoceronte, ocurre algo parecido. Podemos, incluso, formular interrogantes todavía más complicados, ¿cómo se construirán los instintos de orientación en el cerebro de un pájaro? ¿cómo se forjarán los instintos de caza en los perros? Seguiríamos así formulando un sinnúmero de interrogantes, todavía sin explicación cabal.

*Las formas en los seres vivos es una gran incógnita.*

Si ahondamos algo más en los interrogantes y descendemos hasta el ADN de los seres vivos, nos encontramos con que el dictado de qué proteínas han de producir las células, ejercido por el ADN, es una forma de ejercer el control sobre la estructura y la función de todos los agregados celulares macroscópicos vivos. ¡Espectacular! Pero aquí debemos precisar dos cuestiones de distinta índole: diferenciación celular y morfogénesis. La primera de ellas introduce el interrogante de cómo es que células diferentes, que comparten el mismo ADN cumplen distintas funciones, ya que célu-

*El ADN ejerce el control sobre la estructura y función de los agregados celulares macroscópicos.*

*La morfogénesis implica los mecanismos de la comunicación intercelular.*

las originalmente iguales, acaban haciendo funcionar al riñón, al cerebro o a la médula espinal. El otro aspecto, la morfogénesis (cuyo significado es "nacimiento de la forma") viene a enfrentarnos con los intrincados mecanismos que dan lugar a la comunicación intercelular de nivel zonal o regional a estructuras u organizaciones globales, de gran escala, como son cualquiera de los órganos de un ser vivo: forma del rostro, sub-órganos del cerebro, extremidades, etc.

*La diferenciación celular y la morfogénesis se conocen escasamente.*

Los dos procesos, diferenciación y morfogénesis, son conocidos todavía escasamente. Todo parece indicar que los mecanismos de retroalimentación y de pre-alimentación, vigentes en el interior de las células, son los que indican a la célula, cuando tienen que iniciar y cuando tienen que finalizar con la producción de determinadas proteínas. La retroalimentación se da cuando una sustancia necesaria se encuentra en una cantidad excesiva o insuficiente en una célula, en cuyo caso, ésta tiene que equilibrar la producción de dicha sustancia. La pre alimentación, también es un mecanismo de regulación, pero no como consecuencia de evaluar el producto final, sino algún precursor. Hay dos formas diferentes de tener una retroalimentación o pre alimentación negativas, que se concretan en que, bien se evita que actúen las enzimas pertinentes, es decir, se bloquean los lugares activos de la enzima, con lo que se paraliza el proceso íntegro de síntesis y esto se denomina inhibición, o bien se evita que se fabriquen las enzimas pertinentes, lo que se denomina represión y es más compleja, porque implica que una célula interrumpe la expresión de un gen. Esto último implica que hay que evitar la tarea de parte de la polimerasa ARN, lo que supone que hay que implantar

un obstáculo a lo largo del ADN justo delante del gen que la célula no quiere que se transcriba. Estos obstáculos son los que se denominan represores, que son proteínas y que se unen a sitios específicos de fijación que se llaman operadores. Los operadores son los lugares de control de genes, exactamente de los que vienen a continuación y que se denomina operón.

*Los operadores son los lugares de control de los genes.*

En cambio la retroalimentación y pre-alimentación positivas suponen, bien el desbloqueo de las enzimas bloqueadas o el cese de la represión que ejercen los operones pertinentes. Aunque puede que no haya ninguna razón para ello, la Naturaleza ama la doble negación. El mecanismo por el cual se reprime la represión, implica a unas moléculas llamadas inductoras, cuya función es combinarse con una proteína represora, antes de que haya tenido oportunidad de unirse a un operador, en una molécula de ADN. El compuesto represor-inductor ya no tiene capacidad para unirse a un operador, lo que trae como consecuencia que se pueda transcribir el operón asociado a ARNm y a continuación se traduce en proteína.

*La Naturaleza ama la doble negación.*



ry 7 un

## TRAZO 4.5

## La pregunta científica es cómo

En el lenguaje popular la pregunta más en boga es ¿por qué? En el lenguaje científico la pregunta es ¿cómo? Ciertamente no es cuestión de matiz, sólo, por cuanto responder a un por qué es disponer del conocimiento de las causas últimas que explican las razones por las que ocurren las cosas, a qué se debe que sean así. ¿Por qué?, es una pregunta filosófica, muy ligada a la conjetura y muy imbricada en la creencia y la especulación. La Ciencia ni llega ahí, ni lo pretende. Se conforma con la cadena causal de acontecimientos, identificando los procesos que tienen lugar. Puede parecer que son sinónimas las pretensiones, pero nada más lejos de la realidad. La Ciencia parte de una hipótesis, toda vez que el problema se ha delimitado y elabora una cadena causal de procesos que demuestra y comprueba y está en condiciones de poderlos repetir en las mismas condiciones en que los ha analizado. Formula leyes universales que solamente dependen de magnitudes físicas mensurables y es capaz de pronosticar el resultado a obtener, con una precisión también especificada.

*Por qué es una pregunta filosófica.*

Una vez establecida la pregunta de la Ciencia, ¿cómo? el ser humano es insaciable. No sabemos cómo somos insaciables y hay que reconocerlo así. Tras la respuesta a cada interrogante, aparecen muchos más interrogantes que no es que empañen el resultado de aquél, pero sí que es cierto que actúa como bálsamo de ignorancia, porque entonces nos damos cuenta de lo que todavía nos falta por conocer. Viene pasando así, desde siempre. Algunos físicos, poco humildes, han considerado que

*La pregunta científica es cómo.*

*Las soberbias siempre quedaron en vanos intentos.*

todo era ya conocido y que lo único que restaba era aplicar las leyes descubiertas hasta entonces y asunto arreglado. Así aconteció en los siglos XVIII y XIX con el racionalismo. El descubrimiento de la Cuántica a finales del siglo XIX y primeros del XX vino a dar al traste con el endiosamiento de algunos científicos. Hoy día hay algún científico que mantiene esa postura, haciendo caso omiso a los acontecimientos que han puesto en entredicho, una y otra vez las pretendidas soberbias que quedaron siempre en vanos intentos.

*La gran potencia de la superposición.*

Muchos de los avances científicos han revolucionado a la Humanidad, llegando a límites impensables cuando se formularon. La Mecánica Cuántica supuso un paso gigantesco cuando a finales del XIX pensando que todo era ya conocido, se encontraron los científicos con que los espectros de rayas no se podían explicar con la Mecánica Clásica. Introdujo, al mismo tiempo que resolvía éste y muchos otros problemas, un concepto del que todavía no se ha repuesto y explicado totalmente la Física contemporánea: la superposición. Según el un sistema no solo está en un estado, sino en una superposición de todos los estados posibles. Simplemente esta idea es contraintuitiva en nuestras mentes humanas bien clásicas, como todo el mundo macroscópico. Para el mundo de la computación, como en muchas otros áreas, la superposición puede suponer el futuro de la capacidad de procesamiento que permita llevar a cabo muchas tareas hoy imposibles de realizar. Supondría que las máquinas dejarían de estar gobernadas por la Mecánica Clásica para pasar a estar gobernadas por la Cuántica, como ocurre con las moléculas o los átomos. Sería abordable la simulación de sistemas muy complejos, como las dinámicas

moleculares de los procesos implicados en la vida, la conciencia o muchos de los problemas cosmológicos hoy inabordables. También muchas áreas como la inteligencia artificial podrían verse impulsados al multiplicar la capacidad de procesamiento y almacenamiento de la información.

*Muchas áreas se ven afectadas por la potencia de la superposición cuántica.*

En la computación clásica la unidad de información es el bit, que es la información contenida en un dispositivo que puede tener dos estados, usualmente representados por 0 o 1. Es equivalente a responder no o si, respectivamente, a una pregunta. Cualquier número se puede representar con bits y las denominadas puertas lógicas (Y, O, NO) permiten realizar cualquier operación matemática con ellos combinándolas. Esta manipulación de la información es la que nos ha llevado a lo que hoy es el mundo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, así como el desarrollo de todo tipo de automatismos que hoy operan en nuestro mundo.

*En computación clásica la unidad es el bit.*

En la computación cuántica, en lugar del bit, 0 y 1, tomamos una propiedad cuántica, como es el espín, por ejemplo, de los electrones. El espín está relacionado con el momento angular, en este caso del electrón y puede tomar también dos valores, espín arriba y espín abajo. Si asimilamos espín arriba con el bit 1 y espín abajo con el bit 0, disponemos de una base para soportar físicamente los dos bits. Pero ahora disponemos de algo más, porque mientras que en el mundo clásico los bits los podemos soportar por algún dispositivo que puede tener dos estados (bombilla apagada o encendida, por ejemplo, o núcleos de ferrita que se magnetizan en un sentido u otro), ahora los dos espines al corresponder a dos partícu-

*En computación cuántica se adopta una propiedad cuántica, como el espín, por ejemplo.*

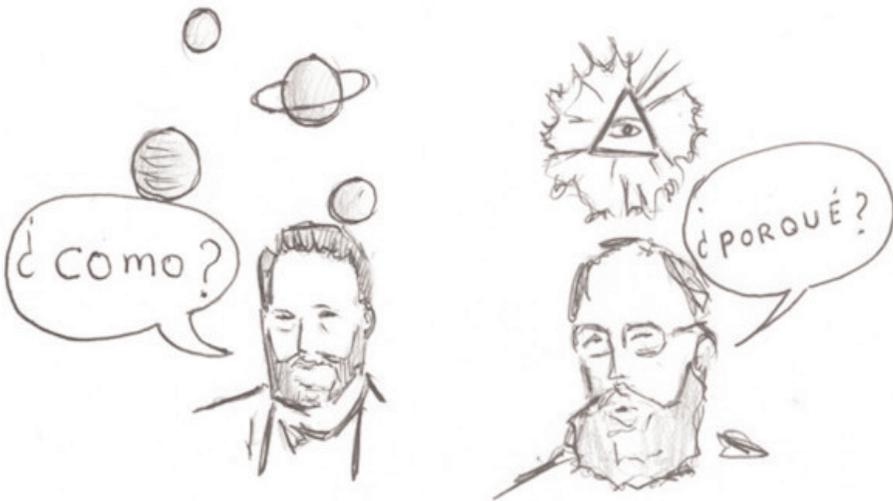
*Las puertaaas lógicas son las que efectúan las operaciones.*

*Un ordenador cuántico opera con las  $2^n$  posibles secuencias de qubits, cuando procesa  $n$  qubits.*

las microscópicas, pueden estar en una superposición de ambos estados posibles. Las puertas lógicas clásicas operan con 0 y 1 y el resultado también es 0 o 1, pero las puertas cuánticas que operan con valores superpuestos, dan como resultados estados superpuestos. Un ordenador clásico procesa  $n$  bits, trabajando con una sola de las secuencias que sería posible codificar con  $n$  bits. Las puertas lógicas se disponen para tratar una secuencia de  $n$  bits de entrada, en casos como para operar aritméticamente, dos secuencias de entrada de  $n$  bits, que una vez pasados por la secuencia de puertas lógicas, que, por ejemplo, efectúan la suma en el sistema de numeración binario, devuelven un resultado, como mucho de  $n+1$  bit. La característica fundamental del tratamiento de la información es que es secuencial el procesamiento. En cambio, en un ordenador cuántico cuando procesa  $n$  qubits, trabaja con todas las  $2^n$  posibles secuencias de qubits a la vez. Un ordenador cuántico opera en paralelo, por lo que equivale a miles de ordenadores clásicos. Supone, por tanto, multiplicar la capacidad de almacenamiento y de procesamiento para poder abordar problemas hoy inalcanzables. La clave está en conseguir el entrelazamiento, para codificar la información de entrada, mantenerla durante el procesamiento o el transporte evitando las interferencias que lo destruyen con enorme facilidad, y decodificar el resultado. Hoy se trabaja con soportes denominados bucles superconductores que emplean materiales superconductores sin resistencia eléctrica y manipulando la circulación de la corriente se almacena y procesa información cuántica. Google e IBM están en ello. Es posible que estemos cerca de la irrupción de estas máquinas que traerán de la mano una auténtica revolución de consecuencias muy difíciles

de prever. Puede que no pase mucho tiempo para lograr la supremacía cuántica y responder al interrogante de cómo se ha logrado tal cosa. Esa es la pregunta científica. Hoy como tal tiene respuesta. La ingeniería tiene que lograr materializarlo.

*Es inminente la supremacía cuántica.*



M. H. H.



## Las más concinnitas

Internet y, en especial, la facilidad de comunicación actual, ha traído de la mano nuevos modos, usos y costumbres. La exasperante lentitud con la que se desarrollaban todas las actividades y actuaciones que dependían de disponer de la información necesaria, han pasado a mejor vida y ya no justifican la lentitud de las aportaciones creativas y originales. Se conoce todo lo hecho, simplemente con querer conocerlo. No hay campo que quede al margen. Todo el mundo puede participar, opinar, sugerir y un largo etcétera de forma instantánea. No hay herramientas todavía para establecer garantías: de veracidad, de calidad, de seguridad y otro largo etcétera. Cualquiera de los inventos habidos en el pasado, no emergieron con todas las garantías de partida. Poco a poco se asentaron, lentamente, se dotaron de las herramientas genuinas para acreditar la conveniencia y muchas de ellas lograron el estatus de innovaciones. En el ámbito de la Estadística los requerimientos están bien establecidos: la muestra significativa tiene un tamaño concreto, no es caprichoso, las condiciones para lograr la representatividad de un resultado no son arbitrarias. Cuando se trata de la red, tampoco lo son. Otra cosa es que, con demasiada asiduidad nos dejamos influir por resultados que no superan los mínimos para tener significación o se extraen conclusiones precipitadas no acreditadas o se toman decisiones, esto es lo peor, atendiendo a impresiones derivadas de grupos de presión que se hacen visibles en la red, sin tener la significación garantizada. Por un tiempo, tendremos que acostumbrarnos a vivir en la zozobra o permanecer al margen

*Hoy no hay campo científico que quede al margen del alcance.*

*No hay herramientas que garanticen la veracidad en Internet.*

*Las condiciones de representatividad no son arbitrarias.*

de rumores minoritarios a los que se otorga significación indebida.

*"Las Más..." se han popularizado en la red.*

La facilidad de expresión de posiciones mediante Internet hace que se someta a escrutinio cualquier cosa en cualquier foro y en cualquier momento. Distintos colectivos manifiestan opinión que, al privarla de su significación, entra en contradicción con demasiada facilidad con otras alternativas efectuadas del mismo modo, solo que en otros colectivos. Se han popularizado LAS MÁS... bellas, LAS MÁS elegantes, LAS MÁS conocidas, LAS MÁS ...Si se tienen en cuenta los tamaños de las muestras que se expresan, muy pocas, si alguna, son rigurosas. Un ejemplo puede ilustrar sobradamente el caso. Si buscamos LAS ECUACIONES MÁS BELLAS, encontramos una referencia a una encuesta realizada por la BBC Earth entre físicos y Matemáticos a quienes preguntaron cuál era la ecuación más bella de la Historia y con las respuestas se configuró esta lista de doce:

*La ecuación más bella de la Historia.*

- 1.- La ecuación de Dirac;
- 2.- La fórmula de Riemann;
- 3.- El valor de  $\pi$  en la circunferencia;
- 4.- La ecuación de Euler-Lagrange;
- 5.- La ecuación de Yang-Baxter;
- 6.- La identidad de Euler;
- 7.- El teorema de Bayes;
- 8.- La Ecuación de Ondas;
- 9.- La ecuación de campo de Einstein;
- 10.- La Aplicación logística en la teoría del Caos;
- 11.- Una progresión aritmética;
- 12.- La Fórmula de cuaterniones de Hamilton.

*Las ecuaciones más famosas de la Historia.*

Si se preguntara por las ecuaciones más famosas de la Historia, encontraríamos solo ecuaciones de Física, ninguna de matemáticas: 1.- La Ecuación de Einstein; 2.- La ecuación de Schrödinger; 3.- La ley de Planck; 4.- El Principio de exclusión de Pauli; 5.-El Modelo

atómico de Bohr; 6.- La fuerza de Lorentz; 7.- La Ecuación de De Broglie; 8.- La Ley de Faraday; 9.- La ecuación de Nerst; 10.- El principio de incertidumbre y 11.- La ley de Gauss. Aquí solamente se recogen once.

Si se nos hubiera ocurrido preguntar por las 10 mejores, además de respondernos por los 10 mejor clasificados de las innumerables listas de las mejores canciones del siglo, o las 10 mujeres más elegantes, o los diez hombres más deseados, o las diez maravillas del mundo o, finalmente, los diez matemáticos más importantes de la Historia o los diez mejores números de la Historia, en el ámbito de las matemáticas nos hubiera dicho: 1.- Teoría de la Relatividad especial; 2.- La Ecuación de Schrödinger; 3.- La Segunda Ley de la Termodinámica; 4.- Las Ecuaciones de Maxwell; 5.- Ley de la Gravitación Universal; 6.- La Fórmula de Euler para poliedros; 7.- El Teorema fundamental del Cálculo; 8.- La transformada de Fourier; 9.- El Teorema de Pitágoras; 10.- El Modelo de Black-Scholes (calcula el precio de los derivados financieros).

*Los diez mejores en el ámbito de las matemáticas.*

Si la pregunta fuera sobre las ecuaciones más bellas de la Historia de la Matemática, la respuesta sería: 1.-  $\pi$ ; 2.- Teorema de Pitágoras; 3.- La identidad de Euler; 4.- La fórmula de Riemann; 5.- El Teorema fundamental del cálculo; 6.- La Ecuación de onda; 7.- El Teorema de Bayes; 8.- Las Ecuaciones de campo de Einstein; 9.- La Ecuación de Dirac; 10.- El modelo Estándar.

*Las ecuaciones más bellas de la Historia de las Matemáticas.*

Finalmente, y para finalizar, si preguntáramos por las Ecuaciones más bellas de la Historia de las Ciencias, la respuesta que obtendríamos, ahora serían 20 ecuaciones:

*Las ecuaciones más bellas de la Historia de las Ciencias*

1.- Las Ecuaciones de Maxwell; 2.- La identidad de Euler; 3.- La segunda ley de Newton; 4.- El Teorema de Pitágoras; 5.- La Ecuación de Schrödinger; 6.- La equivalencia masa-energía; 7.- La fórmula de la entropía de Boltzmann; 8.- El principio de mínima acción; 9.- La ecuación de De Broglie; 10.- La Transformada de Fourier; 11.- Las ecuaciones de campo de Einstein; 12.- La longitud de una circunferencia; 13.- La Ecuación de Dirac; 14.- Otra fórmula de Euler (conexión entre los números primos y la función  $\zeta$  de Riemann); 15.- La ley de Hubble; 16.- La ley de los gases ideales; 17.- La distribución gaussiana; 18.- Teorema fundamental del cálculo; 19.- La suma de logaritmos y 20.- El cuadrado de la unidad imaginaria.

*La colección concinnitas.*

Vemos una disparidad y, cuando menos, matices y sutilezas que cambiarían el orden de los listados. Si apelamos al rigor, tendremos que convenir que la impresión que teníamos antes de disponer de todos los recursos, modos, usos y costumbres que se prodigaban antes de las facilidades que nos brinda Internet, nos llevaban a una ordenación que se acomodaba a los gustos de cada cual. Pero, ahora el resultado es bastante parecido. Se cuenta que, en cierta ocasión, se formuló la pregunta sobre la expresión más bella a matemáticos y físicos y los resultados se plasmaron en una acuarela de 56 por 76 centímetros, colección que se denominó Concinnitas, término acuñado en el Renacimiento expresando el equilibrio requerido a los elementos de una obra de arte. Al parecer, muchos de los entrevistados propusieron ecuaciones propias soslayando las referencias a las clásicas. ¡Para verlo!

Ciertamente, una ecuación es bella (o...) para unos y poco seductora (o...) para otros, independientemente de su significado y alcance. El neurofisiólogo Samir Zeki explica los circuitos neurológicos implicados. Conforman una combinación estética que puede resultar atractiva visualmente para los profanos. Es de suponer que para los iniciados aportará algo más que la belleza estética y conectará con elementos esenciales. En todo caso, los ejemplos incluidos evidencian la parcialidad que se asume al escoger LAS MAS... ¡Mejor conocerlas ... para amarlas! En todo caso, y también para los profanos, la expresión de la regularidad infalible:  $\text{sen}^2 + \text{cos}^2 = 1$ , transmite la grandeza de una eterna función que hace intuir el poder inconmensurable conferido a la mente humana.

*Zeki explica los circuitos neurológico implicados en la valoración de la belleza.*



M H m m a

## TRAZO 4.7

## Las moléculas interfieren

El científico, Nobel en Física en 1965 y extraordinario divulgador, Richard Feynman dejó caer: "*Creo que puedo decir, con toda seguridad, que nadie entiende la Física Cuántica*". Ciertamente, este enunciado es un indicador de las dificultades de comprensión que nos plantea el mundo a escala molecular. Al tiempo que las aplicaciones de la Cuántica, desde los transistores al Láser, han supuesto una innegable revolución de alcance en nuestro modo y forma de vida, a nivel conceptual ponen en tela de juicio todo cuanto conocemos y contradicen lo que observamos habitualmente. Así ocurre cuando nos dice la Mecánica Cuántica que una molécula es a la vez, partícula y onda y que son éstas, dos caras de una misma moneda. Nos parecerá sorprendente que de la misma forma que le ocurre a la luz, cuando atraviesa una rendija, que provoca la difracción de aquella, si en lugar de luz, se trata de un haz de moléculas, acontezca lo mismo.

*Según Feynmann, "nadie entiende la Física Cuántica".*

Recientemente Aoiz y Zare, han observado en una reacción de intercambio de hidrógeno en la que se hacían chocar átomos de hidrógeno con moléculas de deuterio y con un láser se controlaba la energía y el estado químico en el que tiene lugar la reacción, así como la energía de los productos y la dirección en la que se dispersan una vez producidos, comprobando que lo hacían en unas direcciones muy concretas y se detectó un perfil oscilante de las intensidades que describían una interferencia, como si se tratara de ondas. No se pudo simular el resultado utilizando las leyes de la Mecánica Clásica de Newton y solamente la simulación

*Aoiz y Zare han detectado interferencias en una reacción de intercambio de hidrógeno, como si fueran ondas.*

*La simulación cuántica reprodujo las oscilaciones.*

*La propia reacción se comportaba como un interferómetro a escala molecular.*

*Un solo electrón y dos rendijas para pasar, provoca la aparición de interferencia.*

cuántica pudo reproducir las oscilaciones. Se identificaron varios mecanismos de reacción de naturaleza clásica y aislándolos (tratándolos teóricamente) se pudieron desactivar sucesivamente, observando que, al final, desaparecían las oscilaciones. Es decir, que las oscilaciones observadas eran consecuencia de las interferencias entre los mecanismos alternativos de reacción. La propia reacción química se comportaba como un interferómetro a escala molecular. Alguna similitud había con el famoso experimento de Young o de la doble rendija, que permitió establecer el carácter ondulatorio de la materia y que sigue siendo uno de los experimentos más bellos jamás realizados, como suelen opinar hasta los propios físicos, cuando cada cierto tiempo se vuelven a hacer clasificaciones y por votación se eligen los 10 experimentos más bellos de la Física o cosas por el estilo. El patrón de difracción oscilatorio de las partículas se obtenía cuando se dejaba pasar a las partículas por las dos rendijas, porque cuando se tapaba una de ellas y se les obligaba a pasar solamente por la otra, desaparecían las interferencias. Ahora bien, cuando se disminuía el número de moléculas en el chorro que alcanzaba las rendijas y se llegaba a reducir a tan sólo una partícula, con las dos rendijas abiertas, se formaba el patrón de interferencia. Una sólo pasaba por ambas. ¡Esto ya es contraintuitivo ! Pero es! Quien lo ponga en duda, tendrá que demostrar lo contrario. Hasta ahora nadie pudo lograrlo. Así lo evidenciaron Donati, Missiroli y Pozzi, G (1973) en An Experiment on Electron Interference. American Journal of Physics, lanzando electrones, no teniendo nunca más de uno en vuelo. Es decir, los electrones forman un patrón de interferencia (ondas) y colisionan con la pantalla en puntos localizados (partículas). Naturalmente que:

1) Solo hay un electrón en vuelo en cada impacto en la pantalla. Se puede suponer que ha pasado por una de las dos rendijas. 2) Sin embargo, se ha comportado como una onda, así que estamos obligados a pensar que ha pasado por las dos rendijas a la vez. 3) Mientras que se desarrolla el experimento no podemos determinar la trayectoria que sigue un electrón dado. La Mecánica Cuántica nos evidencia que, si pretendemos conocer la rendija por la cual pasa el electrón u observar la trayectoria, desaparece el patrón de interferencia. Es como si la Naturaleza se negara a decidirse por el comportamiento como onda o como partícula. Si queremos identificar las propiedades de las partículas submicroscópicas, el precio a pagar es que perdemos las características de onda. Roger Bachet y col. publicaron en 2013 en New J. Phys. un audaz procedimiento para observar el experimento en tiempo real y encontró lo esperado. Sigue...

*Si pretendemos saber por qué rendija ha pasado el unico electrón, desaparece el patrón de interferencia.*



## Láser y fusión

La inter-conversión entre la energía y la materia quedó establecida en la ecuación de Einstein. Las reacciones nucleares tenían una explicación razonable, así como todos los procesos en los que la velocidad de la luz se alcanzaba o casi se lograba. La conceptualización que ello conlleva cambió drásticamente las bases del mundo científico. La luz, que desde Maxwell se entendía que era un campo eléctrico y otro magnético oscilantes y perpendiculares, lo que suponía una interpretación a la luz de la Mecánica Clásica que, por fin, concretaba la respuesta a la pregunta fundamental de cuál era su naturaleza, daba un salto cualitativo al recuperar la concepción corpuscular newtoniana y se concretaba en una partícula sin masa en reposo, que Einstein bautizó con el nombre de fotón. Un poco después, en la década de los veinte del siglo pasado, la dualidad onda corpúsculo vino a introducir una dosis de coherencia en un marco, el cuántico que, por fin, había permitido explicar alguno de los procesos que tenían lugar a nivel microscópico y que sacudieron la Física de finales del XIX y comienzos del XX, introduciendo elementos contra-intuitivos, alguno de los cuales, todavía siguen esperando una comprensión cabal.

Esa fiebre científica fue lo suficientemente fértil como para ir albergando conceptos nuevos que impulsaban campos científicos desconocidos. La explicación de los mecanismos de absorción y emisión de radiación supusieron una explicación a muchos fenómenos hasta entonces inexplicados. Pero la Cuántica siempre es sospechosa de albergar novedades ignotas. La emi-

*Einstein cambio las bases del mundo científico.*

*Einstein introdujo el concepto de fotón como partícula, sin masa en reposo.*

*La explicación de los mecanismos de absorción y emisión de radiación fue decisiva.*

*La emisión estimulada, tuvo que esperar mucho tiempo, hasta verse materializada de forma útil.*

sión estimulada, consiste en, como su nombre indica, estimularla a que tenga lugar, es decir que se producirá un fotón, porque otro igual se ha introducido y el sistema replica amplificando la entrada y produciendo otro igual al que se hace incidir. En 1905 ya se disponía del concepto de emisión estimulada, gracias a Einstein, pero cosa bien distinta era disponer de un dispositivo que le empleara. Habría que esperar hasta la década de los 60 para que se construyera tal dispositivo. Y, aun así, se popularizó la referencia de que el denominado Láser era una solución en busca de problema. Ciertamente, la tecnología fue aportando componentes que mejoraron sustancialmente sus prestaciones. Hasta la década de los 80 no se dispusieron en cantidad y calidad suficientes para incorporarse a las tareas de investigación con carta de naturaleza.

*El primer dispositivo fue el que se denominó MASER.*

Lo que empezó en el rango de frecuencias de microondas, de hecho, el primer dispositivo se denominó MASER, haciendo referencia a la M de microondas, fue progresivamente haciéndose realidad, gradualmente, en todo el rango del espectro electromagnético. El rango de Rayos X es uno más, que es más energético que el ultravioleta, pero menos que el de los rayos gamma. Las frecuencias de rayos X tienen que ver con las de los electrones de las capas internas. La potencia de los láseres ha ido creciendo progresivamente conforme la tecnología avanza y la Ciencia de Materiales es capaz de suministrar componentes capaces de trabajar en condiciones energéticas más exigentes. Actualmente, el láser de rayos X más potente está situado en el SLAC (National Accelerator Laboratory) y operada por la Universidad de Stanford, en Estados Unidos. Se ha empleado para producir "*materia densa caliente*" a dos

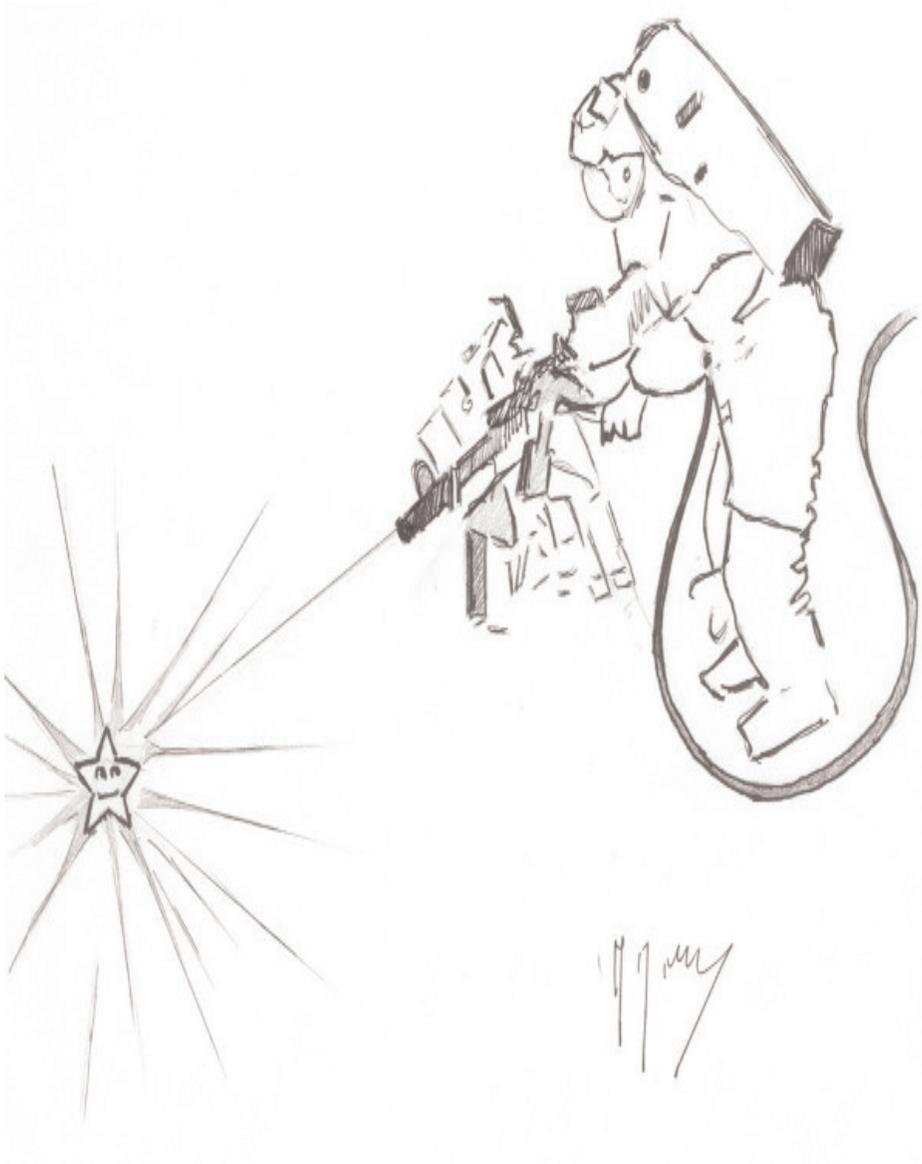
*Láser de rayos X.*

millones de grados, que no es más que un plasma sólido partiendo de papel de aluminio y que alcanzó una temperatura de unos dos millones de grados. El proceso se produjo en un tiempo de una billonésima de segundo. El marco de estudio es tratar de conocer los procesos de fusión nuclear que tienen lugar en el Sol.

Anteriormente se había logrado crear un plasma, pero de gases, aunque no se había logrado con materiales sólidos. Esto requería láseres más potentes que los usuales. La longitud de onda ultracorta del laser de rayos X permite penetrar en un sólido denso y generar el plasma en un cubo de una milésima de centímetro de lado. Lograr explicar la masa densa y caliente está en la base para poder analizar y recrear el proceso de fusión nuclear que acontece en estrellas, como nuestro Sol. El mismo láser logró desnudar por completo a un átomo de yodo de sus 53 electrones. En 20 femtosegundos el átomo de yodo comenzó a devorar los electrones de otros átomos vecinos, simulando un agujero negro. Cabe conjeturar ¿qué hubiera ocurrido si hubieran sido muchos los átomos de yodo a los que se hubiera desprovisto de todos sus electrones? Cada respuesta a alguna cuestión, abre la formulación de un conjunto de nuevos interrogantes. Lo más grandioso es que no tenemos ninguna contestación al interrogante de cómo ocurren así las cosas. La voracidad por descubrir es una fuerza superior a la indolencia de conformarnos con lo que sabemos. No se sabe cómo, pero ocurre. Habrá que aceptarlo, sin más. Algún día, quizás, también tengamos explicación para ello.

*Se habían logrado plasmas de gases, pero no de materiales sólidos.*

*El objetivo está puesto en poder explicar el proceso de fusión nuclear que tiene lugar en las estrellas, como nuestro Sol.*



## TRAZO 4.9

## Límites e incentivos para el conocimiento

La Ciencia es la acumulación de conocimiento. Todo puede parecer indicar que no tiene límites. Puede que ello sea consecuencia de nuestra percepción, que nos hace entrever su carácter indefinido y esa es la sensación que nos produce. Porque, ciertamente, cuando se escudriña más de cerca, se advierten otras cosas. En Ciencia, hay, al menos, y desde hace bastante tiempo, dos escenarios bien contruidos en los que se evidencia que el conocimiento tiene límites. Por un lado, el conocido Principio de incertidumbre de Heisemberg, que nos dice que en el mundo microscópico existen límites impuestos teóricamente al conocimiento, ya que la posición y el momento de una partícula microscópica (y otras parejas de variables observacionales conjugadas) nunca pueden ser determinados simultáneamente. Por otro lado, en el universo matemático, los Teoremas de Incompletitud de Kurt Gödel demuestran que todo sistema lógico, suficientemente complejo para resultar interesante, debe permanecer incompleto. Si nos preguntamos si existen otros límites como estos, repararemos que en Biología podríamos pensar en el interrogante sobre si un cerebro puede comprenderse a sí mismo o que, en Meteorología, el tiempo atmosférico es esencialmente impredecible. No sabemos, todavía, explicar estas cosas. Es posible que desde la ignorancia tampoco nos las cuestionemos,

En el mundo microscópico, la "incertidumbre" establece una diferencia, pero lo hace a un nivel que pudiera parecer de poca incidencia

*El conocimiento tiene límites.*

*Gödel demostró que todo sistema lógico, debe permanecer incompleto.*

*En el mundo microscópico la incertidumbre establece la diferencia.*

*El entrelazamiento cuántico es una cuestión clave.*

*La naturaleza del Universo presenta una dualidad onda-corpúsculo a nivel microscópico.*

*El Universo no puede ser determinista.*

en los seres macroscópicos, como nosotros mismo. Pero no deja de ser un ejemplo útil de limitación, que emergió inesperadamente y tuvo consecuencias de tipo físico. En efecto, puso de manifiesto nuevas incógnitas desconocidas previamente, inaugurando décadas de avances fructíferos no previstos y dio lugar a nuevos e interesantes problemas, algunos de los cuales siguen como incógnitas todavía hoy día. El enredo cuántico es uno de los más peculiares resultados en el mundo de la Físicoquímica Cuántica, emergido, casi directamente, de la incertidumbre desvelada por Heisemberg.

Aclaremos que el resultado de Heisemberg no es un simple caso de falta de bondad en un instrumento de medida, como era usual en el ámbito de la Ciencia Clásica. La naturaleza del Universo, denominada dualidad onda - partícula de las entidades microscópicas, es la que hace imposible esas medidas y es, justamente, esta imposibilidad la que prueba la validez de esta descripción profunda del Universo: algunas cosas fundamentales nunca pueden ser conocidas con certeza. El hecho, difícil de asimilar, es que si no somos capaces de medir los valores de partida, nunca podremos predecir el estado futuro de un sistema. Si no podemos medir la posición o el momento exactos de una partícula a tiempo cero, no podemos saber, de ninguna manera, donde se encontrará la partícula en cualquier instante posterior. El Universo, de esta forma, no es determinista, sino probabilista y no se puede predecir el futuro con certeza. Ahora bien, ciertamente, en el ámbito práctico, cuando las masas de los cuerpos se sitúan en torno a  $10^{(-28)}$  gramos, las probabilidades llegan a ser tan grandes que es

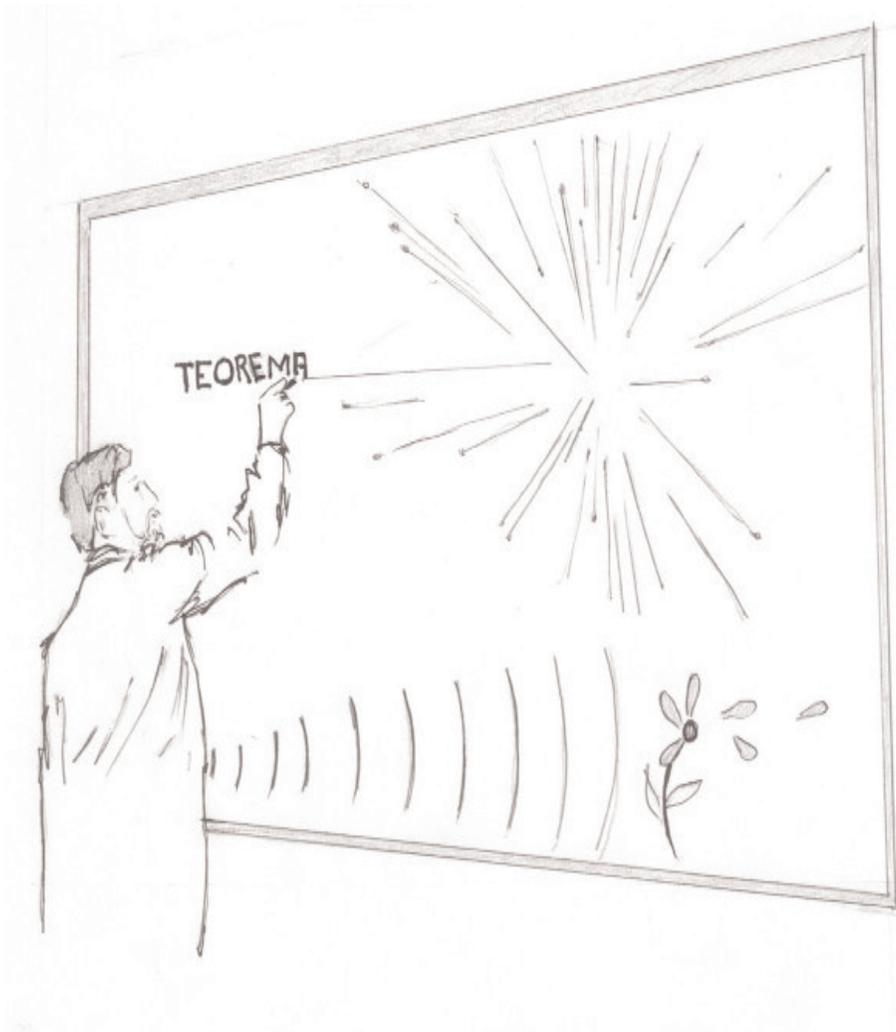
posible predecir cómo actúan. Todo el mundo es capaz de reaccionar cuando le tiran un tomate al escenario desde el lado derecho del patio de butacas de un teatro y sabe que la mejor elección es apartar la cabeza hacia el lado izquierdo, pronosticando la trayectoria de tan usual proyectil antaño, cuando las cosas no iban, bajo juicio de la audiencia, todo lo bien que debieran.

*Si la masa es muy elevada es posible predecir como actúa.*

Este escalón o discontinuidad entre los mundos cuánticos y clásico es el que hace que la incertidumbre cuántica sea tan difícil de apreciar. El comportamiento cuántico es contraintuitivo. Los pioneros de la Mecánica Cuántica ya advirtieron que estos fenómenos solamente se pueden comprender por una voluntad decidida de aceptar una descripción sensible del Universo. Resulta irónico que los resultados extraños e indiscutibles de la Mecánica Cuántica descansan sobre rigurosos armazones matemáticos, aunque solamente están disponibles conceptualmente en alusiones metafóricas del tipo "*enredo cuántico*" o el conocido "*gato de Schrödinger*", que al mismo tiempo está vivo y muerto y ninguno de los dos. En cualquiera de los casos en que se pueda estar, lo importante a saber sobre el principio de incertidumbre es que, aunque lo pueda parecer, no es ninguna limitación, sino más bien un incentivo para realizar más investigación, formular más preguntas y generar nuevas ideas. A veces, las limitaciones al conocimiento, son realmente fértiles y útiles.

*La incertidumbre es difícil de apreciar.*

*A veces, las limitaciones al conocimiento, son útiles.*



## TRAZO 4.10

## Limpieza solar del agua

La sociedad en la que vivimos es muy desigual. No tendría importancia, salvo que, como ocurre en aspectos básicos, difiere de unos países a otros, de unas regiones a otras y entre los pueblos, también. En ciertas latitudes tienen muy asumido que la ventaja comparativa se logra con la investigación. Lograr progreso consiste en situarse por delante de los demás, gracias a proponer mejoras sustantivas sobre lo que se tiene o dispone. Los nuevos métodos, productos y procedimientos, son los que sitúan a la gente en vanguardia. Al contrario, en muchos países, de forma colectiva creen que la investigación es algo de dudosa rentabilidad y lo dejan para los demás. Solamente así se explican algunas particularidades muy disonantes, como que siendo España un país agrícola de primor, no sea capaz de investigar y desarrollar una industria de producción de especies con resistencias a microorganismos concretos y ventajas frente a otros. Otros países como Holanda, cuya tradición productora en determinados productos es nula, por imperativos climáticos y, en cambio, su negocio se basa en vender a los españoles lo que estos debieran haber obtenido y comercializado, en buena lógica.

*Lograr progreso, consiste en situarse por delante de los demás.*

Con el agua, en especial en determinadas regiones españolas y mundiales, ocurre algo parecido. La escasez en determinadas regiones, no se intenta compensar, investigando mejoras que lo permitan. Ahora, a las penurias usuales, se suman las derivadas del aumento de la población y la creciente industrialización y

*La escasez de agua en determinadas regiones no se intenta compensar.*

*Disponer de agua potable es uno de los problemas básicos a resolver por la Humanidad.*

las consecuencias, cada vez más evidentes, derivadas del cambio climático en ciernes. A poco que pensemos en ello, la disposición de agua potable es uno de los problemas básicos a resolver por la Humanidad. Las cifras de falta de acceso a agua potable son aterradoras, aproximadamente 700 millones de personas no pueden tenerla.

*La energía solar como fuente energética*

La energía solar puede ser la fuente energética para el tratamiento de aguas procedentes de suministros considerados inadecuados para su uso. El tratamiento de agua residual presenta retos a solventar por la presencia de contaminantes, tanto químicos como de potenciales efectos biológicos negativos. En las aguas residuales se detectan productos farmacéuticos, de cuidado personal o de desinfección y productos generados a partir de éstos en los procesos biótico y abióticos, así como bacterias resistentes (o portadoras genes de resistencia) a los antibióticos.

*Dificultades de los métodos convencionales.*

Las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas son ineficientes, generalmente, para eliminar los contaminantes químicos. Los bioreactores de membrana se ha comprobado que son efectivos para eliminar los contaminantes químicos susceptibles de biodegradación. La microfiltración y ultrafiltración son demasiado costosas en tiempo para retener los contaminantes químicos y los poros de bajo tamaño empleados en la nanofiltración y osmosis inversa, no se han revelado efectivos para retener cantidades significativas de contaminantes químicos. Por el contrario, las tecnologías de membrana generan una corriente de residuos, creando la necesidad de una gestión de limpieza adicional. Finalmente, la adsorción empleando carbón activado es efectiva para

retener los contaminantes químicos, pero una vez alcanzada la capacidad máxima de adsorción del carbón activado hay que regenerarlo para poderlo reusar de nuevo.

Una alternativa son los procesos de oxidación avanzada, como los denominados procesos de oxidación dirigidos por la luz solar. En los años inmediatos pasados se han llevado a cabo instalaciones piloto en varios emplazamientos europeos operando bajo la irradiación solar natural, lo que supone, además, una disminución considerable del coste de operación. La alta eficiencia lograda en la degradación de los contaminantes químicos, al tiempo que aplica procesos de desinfección se ha presentado en numerosas publicaciones científicas. La optimización de la catálisis y las dosis de oxidante durante el proceso foto-solar, se resume en dos reacciones: reacción del peróxido de hidrógeno con  $\text{Fe}^{+2}$  para formar radicales hidroxilo,  $\text{Fe}^{+3}$  y el anión hidroxilo y una segunda reacción que se realiza en presencia de la radiación ultravioleta y visible en la que los iones  $\text{Fe}^{+3}$  producidos en la reacción anterior, son convertidos catalíticamente en  $\text{Fe}^{+2}$  con la formación de un radical hidroxilo adicional que lidera la generación de radicales hidroxilo a partir de peróxido de hidrógeno y de esta manera puede tener lugar el proceso de eliminación de los contaminantes químicos. Estas reacciones se realizan a  $\text{pH}=2.8$ .

Las tecnologías de oxidación controladas por la luz solar suponen un mecanismo prometedora para eliminar los contaminantes químicos, incluyendo bacterias resistentes a antibióticos y con genes de resistencia presentes en las aguas residuales. La Naturaleza sabe hacer

*Los procesos de oxidación avanzada como alternativa.*

*Tecnologías de oxidación basadas en la luz solar.*

*La energía solar es inagotable.*

muchas cosas. Ha tenido tiempo para optimizar procesos. Parece estúpido no ayudarlo a que cumpla su, al parecer, cometido. Seguimos siendo privilegiados en estas latitudes. Al final la energía solar en la escala humana es inagotable.



## TRAZO 4.11

## Lo esencial de nuestra existencia

Podría parecer pretencioso, pero está ponderado el enunciado: *lo esencial de nuestra existencia es la consciencia*. Es la única parte del Universo a la que tenemos acceso. El resto ya es una inferencia lógica, elaborada a partir de sensaciones. La existencia de objetos, desde casas hasta zapatos, la deducimos a partir de las sensaciones y concluimos que debe haberlos. Pero sucede lo mismo con la existencia de otras personas y, en general, de un mundo exterior a nosotros mismos, que es lo que tienen en común todos los seres y objetos que podemos enumerar.

*Lo esencial de nuestra existencia es la consciencia.*

Ahora bien, con la naturaleza intrínseca de la consciencia, al igual que con el resto de entidades físicas, tenemos evidencias a partir de las interacciones con otras entidades. Podríamos pensar que la consciencia es un producto de las leyes de la Naturaleza, de forma que pueda ser reproducible, recreada y verificada en un laboratorio. A escala, se construyen los modelos simplificados que reducen el número de variables de una realidad, con objeto de poner la lupa y extraer consecuencias, aunque sean válidas en condiciones límite, pero nos acercan a la comprensión de un fenómeno. No podemos recrear a escala 1:1 el ecosistema del Mar Menor, pero sí llegamos a recrear un ecosistema equivalente en una maqueta de 3 x 4 que nos da una idea aproximada de cuanto ocurre en el comportamiento marino, a pequeña escala. En el caso de la consciencia, ocurre que dentro de este paradigma de interpretarla en el contexto de las leyes de la Naturaleza, hay

*Podríamos pensar que la consciencia es un producto de las leyes de la Naturaleza.*

*Hay intentos de crear consciencia artificial, usando ordenadores.*

*Una alternativa es que la consciencia es distinta de la materia.*

*Cualquier enunciado debe demostrarse para ser aceptable.*

*Monismo y dualismo.*

*Hubo un tiempo en que se creía que los objetos tenían voluntad.*

intentos de crear consciencias artificiales usando superordenadores.

Otra alternativa consiste en considerar que la consciencia es algo distinto de la materia y que nunca logrará ser explicada por la Ciencia. Quizás es ésta la posición más cómoda. Resulta mucho más asequible formular construcciones mentales, sin atenerse a ninguna disciplina, ni al rigor que la Ciencia, a lo largo de mucho tiempo, ha ido construyendo y evidenciando. Una buena disciplina es aceptar de partida que cualquier enunciado tiene que demostrarse para poder ser aceptable. Demostrar exige partir de unas premisas (axiomas) incontrovertibles, de cumplimiento indudable y mediante un razonamiento y deducción gobernadas por la lógica, alcanzar unas conclusiones. A la creencia de que mente y materia son la misma cosa, se le denominó monismo y a la que las separa, dualismo. El monismo es hoy de práctica mayoritaria, pero no por ello más reciente, porque en realidad era lo aceptado en épocas prehistóricas, aunque con argumentos diferentes. En aquellos tiempos, la lluvia la enviaban los dioses, sin que tuviera nada que ver la gravedad. Las piedras ofrecían dificultad a que fueran transportadas, pero porque no querían moverse. Es, en esencia, el animismo imperante en la época prehistórica. Aquí no era la mente la que se regía por las leyes del Universo, sino que el universo se regía por las leyes de la mente. Los objetos tenían voluntad. Desmontar esta estructura fue objeto de mucho trabajo y tiempo. Aristóteles se condujo como monista, con los cinco elementos, cada uno con su lugar natural: la tierra en el centro, seguida del agua, el aire y el fuego. Las piedras no caían por la gravedad, sino porque su tendencia natural era moverse

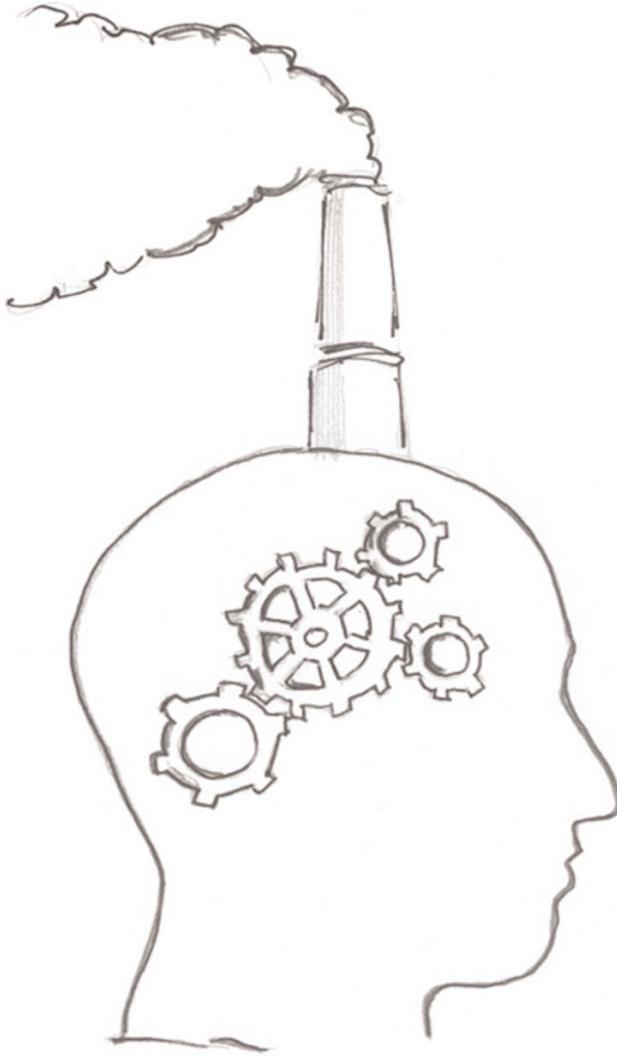
hacia el centro de la Tierra. Al igual, la lluvia se dirigía al centro del mar, por encima de la tierra. Así que, al alterar el estado natural, como era elevar una piedra, había resistencia, que venía a significar la tendencia de la piedra a volver a su sitio natural, la Tierra.

*Las cosas se resistían a alterar su estado natural.*

El propio Demócrito propuso la existencia de los átomos, como partículas indivisibles, no queriendo nada, dado que se movían según fuerzas que escapaban a su control. Era monista porque lo aplicaba a las personas: estaban hechas de átomos que seguían patrones de movimiento rígidos. ¿Dónde encajaba el libre albedrío? Lucrecio tres siglos después, propuso la teoría del Clinamen, según la cual, cada cierto tiempo, los átomos se comportaban aleatoriamente, de forma impredecible y esto es lo que explicaba la libertad humana. No separar mente y materia implicaba explicar por qué no opera la mente como la materia, sujeta a las mismas leyes. Merece la pena analizar cuidadosamente las sugerentes propuestas de los promotores "legales" del entramado científico.

*La concepción atomista de Demócrito era monista.*

*Teoría del Clinamen de Lucrecio.*



H/ Hinc

## TRAZO 4.12

## Lo que cae del cielo

Era un dicho popular en la infancia (de antes, claro): "*lo que cae del cielo nunca aporrea*". Era el aviso de que se había lanzado al aire algo, agua usualmente, y que iba a caerle a alguien encima. Se le pretendía disuadir para que no se apartara, porque no valía la pena, ya que le alcanzaba irremisiblemente. Cosas de críos. Las risas, una vez le caía encima, eran de campeonato. El "*agua va*" como aviso inmediata o simultáneamente al lanzamiento de una jofaina de agua a la calle, desde un balcón, era algo parecido. La, habitualmente, lanzadora no miraba, ni le interesaba saber si alguien era susceptible de recibir el "*líquido elemento*" con sus concomitancias. Avisaba como grito de actuación, en todo caso. No sé si se escucharían risas, caso de derramarse desde cabeza a pies, por el transeúnte de turno. Al menos, las de los situados en tierra al nivel del sufridor, las tenía aseguradas, aunque solo fuera por haberse librado del infortunio.

*"Lo que cae del cielo, nunca aporrea".*

No carece de sentido el enunciado de que *lo que cae del cielo...*, al menos, en el caso de lanzar desde el suelo y analizar donde caerá el objeto lanzado. Porque no estamos quietos ni un solo instante. Aunque no lo parezca, vamos a una velocidad tremenda, estando quietos aparentemente. La Tierra, además del movimiento de traslación alrededor de su estrella, la de ésta en la Galaxia, ésta en el grupo local y así sucesivamente, efectúa un movimiento de rotación constantemente. Para pequeñas elevaciones de un objeto lanzado desde su superficie, es decir, pequeñas velocidades iniciales,

*No estamos quietos ni un sólo instante.*

*El análisis de donde cae un objeto lanzado hacia arriba, es sofisticado.*

*Bagnoli examina el proceso de subida y bajada de un objeto lanzado desde la superficie de la Tierra.*

dado el enorme radio de la Tierra el movimiento en su superficie se puede considerar que tiene velocidad constante y que el objeto que hemos lanzado cae exactamente en el punto desde el que lo hemos lanzado. Esto es lo que fundamenta la creencia de que ocurre tal cosa. Lanzamos hacia arriba y recogemos en el mismo punto en la superficie. Pero no es tan así para todas las velocidades iniciales posibles, porque el análisis es algo más sofisticado.

Bagnoli introduce una reflexión que examinamos a continuación. ¿Qué ocurre si la velocidad inicial del lanzamiento la incrementamos? ¿Se verá afectado el punto de caída por la rotación de la Tierra? Supongamos que estamos cercanos al Ecuador. El objeto mantiene su velocidad tangencial  $v \cdot t = \omega R_0$ , siendo  $R_0$  el radio de la Tierra y  $\omega$  la velocidad angular de rotación de la misma. El sentido es este-oeste, dado que la rotación de la Tierra es oeste-este. Pero al subir el objeto lanzado, va aumentando el radio hasta el centro de la Tierra, al aumentar la altura, con lo que el objeto va acomodando su velocidad tangencial a la que corresponde a la altura alcanzada y, por tanto, durante el movimiento de subida se desviará hacia el Oeste, por la misma razón que cuando caiga irá disminuyendo y se desviará hacia el este. Pero no está nada claro si este cambio es suficiente para compensar la desviación de subida con la de bajada y al final irá a parar al mismo sitio del que partió. Sigue siendo un análisis elemental, al que le faltan componentes

Realmente, el movimiento del objeto que lanzamos, un proyectil, por ejemplo, se deberá comportar igual que el péndulo de Foucault,

cuyas trayectorias forman como las hojas de una roseta. No obstante, no es suficiente para predecir con seguridad si retorna al mismo punto de partida o no. Ingenuamente podemos aventurar que puede haber un desplazamiento hacia el oeste, dado que la Tierra rota durante el tiempo de vuelo del proyectil y si suponemos que lo lanzamos verticalmente, sin ninguna componente horizontal de velocidad y que, por tanto, retornará a tomar tierra, al nivel del que se lanzó, más al oeste del punto de partida. En un caso concreto, podemos razonar que si la Tierra tiene una velocidad tangencial de 437 m/s y nuestro proyectil está en el aire 200 segundos, debería caer a 87 kilómetros del punto donde lo lanzamos. Sigue siendo una estimación ingenua. Veamos, podemos desprestigiar la fuerza centrífuga que no hace nada, salvo que disminuye el efecto de la gravedad. Supongamos constante la gravedad, lo cual deberíamos considerar si el desplazamiento es de grandes elevaciones, pero supondremos que se trata de unos cuantos kilómetros. Vamos a incluir en nuestro tratamiento la fuerza de Coriolis. Podremos escribir un sistema de ecuaciones, una de ellas correspondiente a la coordenada horizontal que sería el eje tangencial al Ecuador cuya dirección positiva se dirige hacia el oeste y la otra ecuación corresponderá a la coordenada de elevación. Si integramos entre el tiempo de partida ( $t=0$ ) y el de llegada,  $t$ , obtenemos la primera constatación de que el valor positivo de la coordenada tangencial garantiza que habrá un desplazamiento hacia el oeste. Si, a continuación procedemos a integrar la ecuación que corresponde a la elevación, obtendremos una ecuación que puede parecernos sorprendente, pero que describe un movimiento armónico, como ocurre en el péndulo de Foucault. Si empleamos como

*Teoría del Clicamen de Lucrecio.*

*Hay que considerar la fuerza centrífuga.*

*Debemos incluir la fuerza de Coriolis.*

*Integradas las ecuaciones, la apariencia es la del péndulo de Foucault.*

*Pueden obtenerse desplazamientos importantes con respecto al punto de lanzamiento.*

datos la rotación de la Tierra, que podemos suponer que es de  $7.27 \cdot 10^{-5}$  radianes/s, que es un valor aproximado para el Ecuador, que la velocidad inicial de lanzamiento del objeto es de  $v_0 = 1000$  m/s, que no es una velocidad inalcanzable para un proyectil de un arma, la altura máxima que alcanzará el proyectil será de 50 kilómetros, despreciando el efecto del rozamiento del aire y también con esta altura está garantizado que sea un valor pequeño en comparación con el radio de la Tierra que es de unos 6000 kilómetros. El tiempo que va a invertir el proyectil en recorrer la distancia será de 200 segundos y la desviación que obtendremos será de 1 kilómetro hacia el oeste.

*Si se considera el aire y la rarefacción de la atmósfera, el desplazamiento será todavía mayor.*

Si consideramos la intervención del aire, la complicación es notoria, por cuanto el régimen que hay que considerar es turbulento. Pero, además, conforme se rarifica la atmósfera, su densidad cambia y disminuye llegando a ser muy baja por encima de los 10 kilómetros. Es de esperar que en estas circunstancias la desviación hacia el oeste sea mayor que la calculada anteriormente. Probablemente estará situada entre 1 kilómetro y unos 10 kilómetros, siempre hacia el oeste. Claramente, pues, "*lo que cae del cielo, nunca aporrea*", siempre que lo lancemos desde la superficie de la Tierra y verticalmente.



17/1/00



## TRAZO 4.13

## Luz, color y fotograma

Nuestros ojos solamente perciben luz, pero no pueden percibir todo aquello que es luz. Siendo la luz una onda electromagnética, desde que en 1873 Maxwell publicara su "*Tratado sobre la electricidad y el electromagnetismo*" en el que propuso que la luz está compuesta por dos campos: uno eléctrico y otro magnético, oscilantes y perpendiculares entre sí. Cuando una carga eléctrica oscila de forma periódica, el campo eléctrico de su entorno varía. Por otro lado, se propaga por el espacio, generando ondas. Pero la variación de un campo eléctrico genera un campo magnético, también variable. Uno y otro campo varían de forma concertada, generando la denominada onda electromagnética cuya descripción consiste en que los dos campos oscilan cada uno por su lado, aún cuando guardan una relación entre ellos, como describen las ecuaciones de Maxwell. La propuesta concreta de Maxwell, a la vista de sus predicciones y la constatación de que la velocidad de propagación es, justamente, la de la luz, fue " ... *tenemos poderosas razones para asegurar que la luz es una perturbación electromagnética*".

*Campos eléctricos y magnéticos varían de forma concertada.*

La constatación de la teoría avanzada por Maxwell no se hizo mucho de rogar. Hertz, en 1888 respaldó el modelo de Maxwell, generando las ondas electromagnéticas y detectándolas a distancia, comprobando que producían reflexión y difracción, como corresponde genuinamente a las ondas. Por cierto, fue Hertz quién descubrió el efecto fotoeléctrico, en este caso experimentalmente, mucho antes

*Hertz generó ondas electromagnéticas, comprobando que eran ondas.*

de que Einstein diera cabal explicación de su justificación.

*El espectro electromagnético es muy amplio implicando muchos procesos distintos.*

Así que, la luz se concreta en oscilaciones de diferentes longitudes de onda que generan, no sólo matices, sino que cambian considerablemente los procesos físicos y químicos a que da lugar. En la región visible del espectro electromagnético la longitud de onda aumenta desde el violeta al rojo, en la sucesión violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Tanto en el infrarrojo, como en el ultravioleta desaparece la luz de nuestro control visual. Pero, precisamente en el ultravioleta, se incrementa su repercusión. Tras el ultravioleta comienzan los rayos X, cuando las ondas tienen longitudes por debajo de 0.00002 mm. Por el otro sentido, una vez superado el infrarrojo, cuando estamos por encima de los 0.003 mm, comienzan las ondas de radio.

*El primer procedimiento fotográfico lo propuso Daguerre.*

No solo afecta a la vista las características de la luz. El primer procedimiento fotográfico se propuso en 1839 por Louis Daguerre en la Academia de Ciencias de Francia. La imagen se formaba sobre una capa de plata pulida hasta comportarse como un espejo (aunque solían ser de cobre plateado, por economía). La imagen se formaba mediante pequeñísimas partículas de aleación mercurio-plata, dado que se revelaba con vapores de mercurio, con objeto de producir la amalgama en la cara plateada de la placa. Dicha placa se había sometido, con anterioridad a vapores de yodo, con objeto de que fuera fotosensible. El procedimiento consistía en mantener largos tiempo de exposición, lo que inhabilitaba el procedimiento, ya que personas o animales no mantenían por mucho tiempo la inacción. Quedaba relegada a servir de notario de paisajes y edificios.

Una gran dificultad es que no se podían hacer copias, dado que no había negativo, ya que se veía como tal o como positivo solamente cambiando el ángulo de observación o de la luz incidente, o ambos. Los vapores de mercurio del revelado eran nocivos, las imágenes eran muy delicadas y era un problema su conservación, resultaba obtener una imagen invertida como en un espejo. En España dejó de emplearse en torno a 1860.

*El daguerrotipo presentaba muchos inconvenientes.*

Talbot que murió en 1877 inventó el procedimiento de grabar el negativo y la ampliación, dos procesos decisivos en el desarrollo de la fotografía. Transcurrieron más de cuarenta años para sustituir las negativas en papel de Talbot, por otros bastidores más manejables y eficaces. En 1857 Nieper de St. Victor introdujo la idea de utilizar placa de cristal en lugar de papel. Recubrió una cara con clara de huevo y posteriormente incorporó encima una disolución de plata. Posteriormente Legrav sustituyó la clara de huevo por colodión, que había sido descubierto por Menard en 1846 y era una disolución de nitrocelulosa en una mezcla de éter y alcohol. Tiene el aspecto de un barniz, que seca rápido y deja una lámina parecida al celofán. En la fotografía dio origen al procedimiento denominado colodión húmedo que propuso Scott en 1851, consistente en empapar la placa con un producto sensible a la luz. Era complejo y se debía de preparar cuando fuera a tomarse la fotografía, pero redujo el tiempo de exposición a unos 30 segundos, cuando los procedimientos en vigor exigían tiempos de muchos minutos. Se pasó posteriormente, en 1855 al procedimiento inventado por Taugenot que combinaba la clara de huevo con el colodión, constituyendo la primera placa seca. De ahí se pasó a la placa de gelatina de bromuro

*Talbot introdujo el negativo en 1877.*

*Placa de cristal, clara de huevo, colodión, fueron reduciendo el tiempo de exposición.*

de plata y emulsiones de sales de plata que actuaron en el universo de las placas secas. El daguerrotipo había resultado periclitado.

*Vogel despejó los "valores lumínicos" de los distintos colores.*

No obstante en todos los procedimientos que empleaban placas, latía el mismo problema fundamental: reflejaban los "*valores lumínicos*" de los distintos colores, de forma inversa, de manera que el violeta y el azul actuaban más intensamente que el rojo y el amarillo en las placas de bromuro de plata. Vogel en una noche de insomnio, observó el vaso conteniendo hidrato de cloral diluido (producto de aspecto oleaginoso compuesto de cloro, alcohol etílico y agua, un relajante como droga hipnótica que es), que se empleaba como somnífero usualmente. Contemplo la luz sobre la placa que había desarrollado y fijado, resultando ser una fotografía del espectro, como siempre. Nada de particular en las placas secas que utilizaba últimamente, salvo que no aparecían los halos y suponía que con las placas había mezclado algún colorante que impedía su formación. No es que no los hubieran sino que el azul era blanco y el rojo y el amarillo eran negros. Así que cuando se obtenía el espectro de la luz, el lugar que correspondía al verde en una placa de bromuro de plata, resultaba ser blanco, dado que la acción de la luz sobre el verde era muy débil. Pero en los registros de Vogel, aparecía una sombra negra intensa. Es decir que el verde, ahora estaba mostrando una "*fuerza lumínica*" más fuerte que nunca. Vogel insistió en pensar en el colorante añadido a la placa.

*La luz producía efectos cuando era absorbida por el cuerpo sobre el que incidía.*

La luz solamente producía efectos cuando era absorbida por el cuerpo sobre el que incidía. El azul resultaba absorbido por las sales de plata. Por contra, verde, amarillo y rojo no eran absorbidos por la capa de plata y no producían ningu-

na alteración. Así que, los lugares iluminados de verde, amarillo o rojo permanecían claros en el revelado y al obtener la copia positivada, resultaban oscuros. La clave consistía en conseguir que las sales de plata absorbieran, también esos colores. Así se podrían obtener placas sensibles a los colores para los que hasta entonces habían resultado ineficaces. Si se agregaba a una capa de bromuro de plata un colorante amarillo, como absorbería el complementario, que es el azul, de forma que los restantes colores de la luz diurna tendrían efecto sobre la capa y las partes azules, quedarían más claras. Esto es lo que le indujo la reflexión de la observación del vaso con hidrato de cloral. Ensayó con todos los colores, confirmando la hipótesis. El bromuro de plata podía hacerse sensible a cualquier color. Se precisó mucho tiempo para convencer que el bromuro de plata podía absorber un color agregando un compuesto que absorbiera ese color y ninguno de los demás. Vogel descubrió la placa ortocromática, sensible al verde y al amarillo. Se cerraba el ciclo que iniciara Schulze en 1727, con el que comenzó la gran aventura de la fotografía al percatarse que las sales de plata se oscurecen por la acción de la luz del Sol. El cloruro de plata y el nitrato de plata se oscurecían no por el calor, sino por la luz. Ese fue su hallazgo. Podría parecer simple, pero fue un gran paso para la fotografía. Observó que las botellas que contenían la mezcla de una sal de plata y yeso se ennegrecían por la parte que les daba la luz y cuando colocaba etiquetas con los nombres, se quedaban marcados en el interior. Había obtenido el primer fotograma. La luz hacía cosas, provocaba cambios, inducía procesos. Solamente se precisaban sensores capaces de captarla. Los fotones resultan ser insignificantes, salvo que gracias a ellos vemos y gracias a

*El bromuro de plata podía hacerse sensible a los distintos colores.*

*La gran aventura de la fotografía la inició Schulze en 1727.*

*Nuestros sensores (ojos) activan la percepción.*

nuestros sensores, los ojos, somos capaces de activar la percepción. Hoy somos capaces de comprender, no se si valorar, el esfuerzo intelectual de cuantos nos precedieron formulando las hipótesis que han conducido a la Ciencia hasta lo que hoy es. Cuidémosla para el futuro.



## TRAZO 4.14

## Macro y micromundo

La entropía, junto con la energía califican qué procesos son posibles en la Naturaleza. Según Clausius, la entropía se puede medir en términos del calor y, siendo una "energía", es posible abordar una interpretación mecánica de aquélla. Ehrenfest propuso un modelo que justificaba tal cosa, consistente en suponer que disponemos de dos recipientes: uno lleno solamente con bolas de un color y el otro con bolas de otro color. Una persona va pasando, sin mirar, sucesivamente, una bola de un recipiente al otro para, a continuación, hacer lo mismo con otra bola procedente del segundo recipiente para llevarla al primero. No se altera el número de bolas de los dos recipientes, pero la distribución de los colores se va modificando. Con el tiempo, se equilibran ambos recipientes, en color. Cuanto mayor es el número de bolas, mejor se propicia el equilibrio; en unos recipientes con dos bolas, es fácil no alterar la situación. Si el proceso no se ve influido por el color, sin preferencia alguna por quien efectúa el proceso de cambio de recipiente, está garantizado alcanzar el equilibrio de forma espontánea, es decir, mismo número de bolas de cada color en cada recipiente.

*Según Clausius, la entropía se puede medir en términos del calor.*

Hay propiedades de la materia que emergen del colectivo de átomos o moléculas y no tienen sentido a nivel individual. La naturaleza incolora, inodora e insípida del agua, deja de tener sentido a nivel de una sola molécula. Los sentidos humanos, solamente, nos dejan acceder a un nivel macroscópico de la materia, es decir a propiedades del conjunto de átomos y molé-

*Hay propiedades de la materia que emergen del colectivo de átomos o moléculas.*

*Para la descripción microscópica es preciso medir distancias entre las moléculas.*

*Nuestros sentidos operan a baja resolución.*

*¿Cómo es la conexión entre microcosmos y macrocosmos?*

culas, como la energía total, pongamos por caso. Renunciamos a la descripción de la evolución dinámica a tiempos y distancias pequeñas. Pensemos que en un recipiente con un litro de líquido, el número de moléculas que hay es del orden de  $10^{25}$ . Cada molécula tiene su posición y velocidad. El estado termodinámico se caracteriza por unas cuantas magnitudes: presión temperatura, densidad, energía interna, etc. Pero para la descripción microscópica requerimos medir distancias entre moléculas. En la Atmósfera terrestre, se estima que la distancia entre átomos o moléculas es de una millonésima de milímetro ( $10^{-6}$  mm.) y los componentes de aquella se mueven a una velocidad del orden de 624.3 metros por segundo (más de 2000 kilómetros por hora). El tiempo que transcurre entre dos colisiones es del orden de una billonésima de segundo ( $10^{-12}$  s.), es decir, que cada segundo supone un billón de colisiones entre las moléculas. Nuestros sentidos perciben una imagen muy grosera de esta descripción a nivel atómico-molecular. Nuestra vida discurre a un nivel muy alejado de este escenario que describimos. Podemos decir que nuestros sentidos operan a baja resolución. Lo que, naturalmente, no supone que no haya otros niveles a los que las cosas ocurren de otro modo.

La cuestión de fondo es: si el nivel microscópico está por debajo del nivel al que nosotros, como personas, tenemos acceso, ¿cómo es la conexión entre ambos? ¿cómo es que a partir de conductas microscópicas se generan las propiedades macroscópicas que observamos? De entre todas las propiedades, vamos a poner la lupa en tres de ellas: la masa total, la energía total y la carga total. Las tres cumplen

un principio de conservación, por lo que no se ven afectadas por el tiempo transcurrido para efectuar la medida. Las tres son aditivas y, por tanto, se incrementan con el tamaño del sistema. Esto hace que un átomo o una molécula de más o de menos entre los  $10^{(25)}$  que hay en un litro, no afecta a la medida, es decir, la precisión no es muy exigente, ni para la posición, ni para la velocidad de los átomos y moléculas constituyentes, mientras que si lo es para determinar las propiedades mecánicas que no son aditivas, como la posición y la velocidad. Es decir, a nivel macroscópico, podemos ignorar en gran medida la información sobre la evolución mecánica del sistema. Las magnitudes termodinámicas, como el calor, la temperatura o la energía son la versión macroscópica de las propiedades del sistema.

*A nivel macroscópico se puede ignorar la información sobre la evolución mecánica del sistema.*

Un recipiente que encierra un litro de aire, contiene unas  $10^{(25)}$  "moléculas" de aire, que presentan una separación entre ellas de unas diez veces el tamaño de una molécula y se mueven a unos 2000 kilómetros por hora, en todas las direcciones posibles y cambian de dirección en cada choque. Las colisiones son raras, porque están muy lejos unas de otras y llegan a recorrer unas doscientas veces su tamaño entre dos choques sucesivos. La mayor parte del tiempo transcurre sin colisiones. Esto hace que las fuerzas mutuas, entre las moléculas que constituyen el aire, son realmente infrecuentes. Si se tratara de un líquido serían más frecuentes y en un sólido, prácticamente nulas, ya que están empaquetadas rígidamente. En el caso ideal, el de un gas, la teoría denominada cinética fue introducida por Bernouilli en 1738 y formulada con mayor rigor por Maxwell y Boltzmann en el siglo XIX, ini-

*Bernouilli introdujo en 1738 la teoría cinética de los gases.*

*Maxwell  
Boltzmann  
fomularon la  
teoría cinética  
moderna.*

*La gran aventura de la fotografía la inició Schulze en 1727.*

ciando la teoría cinética moderna. Los choques con las paredes del recipiente son el origen de la presión con que empujan las moléculas encerradas sobre las paredes del recinto. Una cuartilla de papel, que mantengamos de un extremo con la mano, está recibiendo cada segundo unas  $10^{26}$  colisiones de moléculas animadas con una velocidad de 2000 kilómetros por segundo, por las dos caras, si no caería fulminada. Una colisión más o menos, poco importa, en este contexto

Si las moléculas llevan una velocidad, caracterizan una temperatura. Una mezcla de moléculas a distinta temperatura evoluciona para que las que tienen mayor energía cedan a las que tienen menos, hasta alcanzar el equilibrio. Pero no se ha identificado ningún trabajo en el proceso. Ha sido calor lo que se ha cedido. Los procesos microscópicos son los protagonistas de la transferencia desordenada de energía, en oposición a la transferencia ordenada de energía mediante movimientos macroscópicos observables. La temperatura y el calor son consecuencia de los movimientos a escala microscópica, regidos por las leyes de la mecánica, pero no apreciables a nivel macroscópico. Es la termodinámica la que rige estos procesos.

La relación entre calor y entropía implica que ésta última debe tener una descripción microscópica. Boltzmann, Gibbs y Planck son nombres asociados en el último tercio del siglo XIX, como artífices de la conexión entre los dos mundos, microscópico y macroscópico. Las pocas variables con las que caracterizamos macroscópicamente un sistema, se ven reflejadas en multitud de posiciones y velocidades a nivel microscópico, compatibles con la informa-

ción macroscópica. Las leyes de la dinámica describen la evolución mecánica describiendo las posiciones y velocidades de las partículas, pero el equilibrio a nivel macroscópico se mantiene: el número de átomos total, el volumen que ocupan y la energía total, se mantienen constantes. Pensemos que las distintas formas de situar a los componentes, átomos o moléculas, que mantengan la energía total inalterada, dado que ni el volumen ni el número total de componentes, los hemos alterado, resultan compatibles con los valores de las variables macroscópicas. Podemos afirmar que un estado macroscópico se corresponde con muchas configuraciones microscópicas. Hay, pues, muchos estados mecánicos que se corresponden con un estado macroscópico. La entropía viene a ser proporcional al número de microestados que corresponden a un macroestado. Concretamente la ley de Boltzmann establece  $S = k_B \ln \Omega$  siendo la constante de proporcionalidad,  $k_B$ , la denominada constante de Boltzmann,  $\ln \Omega$  indica el logaritmo neperiano y  $\Omega$  es el denominado número de complejiones o estados mecánicos microscópicos, posibles y compatibles con las variables macroscópicas del sistema. La función logaritmo garantiza la aditividad de la entropía: el número de complejiones producto, que por medio de esta función se convierte en suma, de forma que la entropía de un sistema constituido a partir de otros dos sistemas, multiplica las complejiones, pero suma las entropías de los dos componentes al dar el sistema total. La constante de Boltzmann acomoda las escalas, dado que representa la proporcionalidad entre el número de complejiones y la entropía. Su valor de  $1.38 \cdot 10^{-23}$  julios por Kelvin, podría convertirse en la unidad, si las unidades de tempera-

*El equilibrio a nivel macroscópico se mantiene.*

*Un estado macroscópico se corresponde con muchas configuraciones microscópicas.*

*Coherencia científica*

tura que utilizáramos fueran otras. Lo ingenioso es la conexión entre macroestados y microestados que generan un escenario en el que la descripción mecánica permite inducir las propiedades macroscópicas observables. Hay niveles de descripción, pero unos contenidos en otros. Ciertamente, una coherencia científica. No podría ser de otra forma.



M. Requena

## Máquinas inteligentes

La inteligencia es una facultad de la mente humana. La inteligencia artificial es un programa de ordenador capaz de realizar operaciones que son propias de la inteligencia humana. Son incompletos, por tanto, atienden parcialmente a aspectos propios de un ser humano y, fundamentalmente, tienen capacidad de aprendizaje. Son sistemas que tienen capacidad de recibir información, incorporan una memoria capaz de almacenar tanto la información como los resultados de sus acciones anteriores, aprendiendo de la experiencia, tanto en aras de mejorar el rendimiento como la eficiencia.

*Inteligencia artificial.*

No es nueva la tentativa de construir máquinas inteligentes. La Historia de la Humanidad rebosa de intentos, la mayoría de ellos fallidos, cuando no fraudulentos. No era infrecuente que la máquina que se había anunciado como jugador automático de ajedrez, pongamos por caso, acabara desvelando al humano bajo la mesa camilla que movía las piezas. Siempre ha habido intención de determinar con precisión la capacidad de "*pensar*" de una máquina. Descartes en 1670, refiriéndose a los autómatas o máquinas móviles, dejó escrito: "*...nunca sucede que pueda ordenar su habla en distintas formas para responder adecuadamente ante lo que se diga en su presencia, de la misma forma que la clase más baja de humanos pueda hacerlo*". En el contexto del materialismo, la mente puede explicar, físicamente, lo que ofrece la posibilidad de creación de mentes artificiales. Por el contrario, el dualismo, en

*El materialismo admite la posibilidad de creación de mentes artificiales.*

*El "Club de la razón".*

el que la mente no tiene un estado físico, no se puede explicar en términos estrictamente físicos. En 1936, el filósofo Alfred Ayer, propuso un procedimiento para distinguir entre una persona consciente y una máquina inconsciente, apelando a que las pruebas empíricas evidencian la presencia o ausencia de consciencia. En el Reino Unido el interés por el tema se concretó en el llamado "club de la razón", en el que figuraba como miembro Alan Turing que, en 1947, formuló la propuesta de "maquinaria inteligente" consistente en demostrar si una máquina tenía comportamiento inteligente.

*Turing abordó la cuestión de fondo.*

Turing abordó la cuestión de fondo: cuando se trata de máquinas denominadas inteligentes, "¿pueden pensar las máquinas? La primera medida que tomó fue transformar la pregunta tradicional por preguntarse si las máquinas pueden hacer lo que nosotros hacemos. Esto puede parecer sutil, pero establece un límite entre capacidades físicas e intelectuales de una persona. Ahora está en condiciones de materializar el interrogante introduciendo una prueba propia de un Juego de Imitación. Hombre y mujer se instalan en habitaciones separadas y los otros jugadores intentan distinguirlos mediante la formulación de preguntas y leyendo las respuestas escritas a máquina, en voz alta. En el juego, los que están encerrados en las habitaciones tienen que conseguir convencer al resto, de que son el otro o la otra. Turing introdujo el interrogante de ¿Qué pasaría si sustituimos por una máquina, a uno de los encerrados en una de las habitaciones? Ahora, el interrogador ¿se equivocaría del mismo modo que cuando se jugaba con un hombre y una mujer? De esta forma materializó la pregunta base original que, recordemos, era "¿pueden pensar las máquinas?"

La virtud de la prueba de Turing es su simplicidad. Es una respuesta pragmática a un interrogante tan fundamental como lo es si las máquinas son inteligentes o no. Ciertamente es una interrogación verbal, aunque generaliza toda la capacidad humana, verbal o no, como la que desarrollan los robots. El éxito del ordenador sería cuando se comparara el resultado del juego, cuando uno de los jugadores sea el ordenador y el otro de los jugadores es el que está o la que está en la habitación, de forma que el interrogador no distinga un ordenador de hombre o mujer. En este caso lo calificaremos de inteligente. Hay numerosas alternativas o versiones del test. No se trata de que el ordenador pueda o no engañar al interrogador, sino que tenga capacidad de imitar a un humano.

*La cuestión es si un ordenador puede imitar a un humano.*

Si hay algo que ha traído de cabeza en las últimas décadas son las técnicas de visión artificial que han fracasado intentando reconocer rostros. Uno de los métodos de aprendizaje automático es el denominado *aprendizaje profundo*, consistente en asimilar representaciones de datos. Una observación se puede representar de muchas maneras, pero algunas son más ventajosas que otras para aprender tareas. Así que, la técnica se concreta en seleccionar las mejores representaciones y generar modelos para reconocer estas representaciones. Redes neuronales profundas, convolucionales, y las redes de creencia profunda son las que, por el momento, se han utilizado en problemas de visión artificial o el reconocimiento del habla o audio y música. Por ejemplo, las redes neuronales convolucionales son capaces de identificar fotografías, reconociendo con mayor acierto que las personas. En

*Las redes neuronales intentan reconocer con acierto*

*Hoy se abordan muchos problemas de visión inteligente.*

esta técnica se le enseña al sistema a detectar rasgos y no los rasgos en si mismos. El entrenamiento de estas redes se lleva a cabo con cientos o miles de fotografías de las variedades que se pretende que distinga. El sistema está organizado en capas y en cada una de ellas se identifican formas y aspectos: simples en las capas inferiores, hasta aspectos más complejos en las superiores. A ello hay que sumar la capacidad de procesamiento gráfico y en paralelo. Hoy se abordan muchos problemas de visión, desde la automoción, pasando por la agricultura, hasta aplicaciones médicas. El rendimiento de cultivos o el control de plagas, o del agua de riego, pasan por la visión inteligente. La interpretación de los resultados de aplicación de los escáneres, en diagnóstico o en resultados de terapias, la visión inteligente aporta decididamente, hasta el punto de que cabe esperar auténticas innovaciones en su aportación significativa, frente a los defectuosos métodos convencionales.



11/7/07



## Masa negativa

En los últimos tiempos, en muchas ocasiones, surge el concepto de masa negativa. Muchas veces, los argumentos que se emplean para introducirla son demasiado simples como, por ejemplo: si hay carga negativa y carga positiva, ¿por qué no iba a haber masa positiva y negativa? Otras veces surge en conexión con los estados de energía negativa de la ecuación de Dirac o la inversión de masa de Tiomno. No hay evidencia empírica de su existencia. Tampoco la había cuando Dirac descubrió teóricamente la existencia del positrón. No pensó que se detectara experimentalmente nunca y hoy el PET es de uso cotidiano en muchas instalaciones hospitalarias, para efectuar trabajos de rutina médica, empleando los positrones que Dirac conjeturara. La masa negativa, es objeto de atención en experimentos mentales y no parece que incumpla ninguna ley física fundamental.

El Universo conocido requiere que un 90% de la masa sea de naturaleza desconocida y una poderosa energía oscura, que puedan justificar el incremento de la aceleración en la expansión constatada de aquél. Esto, incentiva el estudio y examen de nuevos tipos de materia y energía. La pretensión de buscar su existencia y tratar de encontrarla, exige formular alguna hipótesis de cómo se comporta. Ciertamente, cuando se habla de masa negativa se piensa, con cierta proclividad, considerar que se trata de un objeto no físico. Algo de razón hay en ello, por cuanto, nunca se ha observado. Claro, que se ha argüido que, si los estados de ener-

*Las redes neuronales intentan reconocer con acierto.*

*La aceleración de la expansión del Universo requiere una masa desconocida y una energía oscura.*

gía negativa se aceptan, entonces la masa positiva caería a valores negativos hasta alcanzar menos infinito y el Universo no sería observable. Esto, es más una conjetura que otra cosa y hay que examinar las interacciones particulares para deducir qué supone la existencia de una masa negativa.

*El principio de equivalencia establece que todos los objetos sufren la misma aceleración.*

Entendamos que cada vez que hablamos de masa negativa, en todas las expresiones en que intervenga, sustituiremos  $m$  por  $-m$ , siendo  $m$  (la masa) un número real y positivo. Por ejemplo, si la ley de Newton es  $F = m a$ , para una partícula de masa negativa,  $F = -m a$ . Hay otras formas de introducirla, pero esta forma de introducirla no viola el principio de equivalencia, de que todos los objetos (de diferente masa) sufren la misma aceleración en un campo gravitacional, vale tanto para masas positivas como para negativas. La fuerza aérea y la armada norteamericana han mantenido programas de investigación sobre la antigravedad. La NASA mantuvo un programa entre 1996 y 2002 titulado ruptura de la física de propulsión y una de las investigaciones consiste en estudiar los agujeros de gusano, en los que se trabaja con masas negativas.

*¿Qué haría un objeto de masa negativa en el campo gravitacional de la Tierra?*

A título de ejemplo vamos a concretar el comportamiento previsible en la física newtoniana ¿Qué haría un objeto de masa negativa en el campo gravitacional de la Tierra? Empleemos la intuición. Según el principio de equivalencia podríamos decir que una manzana de masa negativa cae hacia abajo, al igual que una de masa positiva. La ley de la gravitación de Newton,  $F = -m M G / r^2$ , que proporciona la fuerza que ejercen dos masas,  $m$  y  $M$ , que interaccionan, lleva un signo negativo, con lo

que, como la masa de la Tierra ( $M$ ) es positiva, cuando la otra masa ( $m$ ) es positiva producen una fuerza negativa que es atracción entre ambas. Si una de ellas es negativa, entonces el signo sería positivo. Así que un objeto de masa negativa se alejaría de la Tierra. Una manzana de masa negativa se alejaría de la Tierra. Pero si introducimos esa masa negativa en la segunda ley de la dinámica,  $F = - m a$ , que relaciona la fuerza con la aceleración, como fuerza y aceleración tendrían signo contrario para una masa negativa, la aceleración se opondría a la fuerza gravitacional que la alejaría, resultando que haría caer hacia la tierra la manzana de masa negativa. Quiere decirse que dos planetas de masas negativas, una positiva y otra negativa o dos negativas, caerían el uno sobre el otro.

*Dos planetas de masas negativas, una positiva y otra negativa o dos negativas, caerían uno sobre el otro.*

En cambio, en el marco de la mecánica relativista, Bondi demostró que cuando las masas positiva y negativa son parecidas, la masa negativa es atraída por la positiva, pero la masa positiva es repelida por la negativa, de forma que la masa negativa persigue a la masa positiva. Por tanto, si se crea una partícula de masa negativa, cerca de una de masa positiva, el par que se forma se acelerará, aproximándose a la velocidad de la luz.

*Según Bondi, una partícula de masa negativa, cerca de una de masa positiva formarán un par que se acelerará aproximándose a la velocidad de la luz*

Se ha especulado con que la masa negativa puede emplearse para lograr el apantallamiento gravitacional. ¿Sería una de las explicaciones de la facilidad con la que los pueblos bien antiguos manejaron los descomunales pesos que suponían las enormes piedras que tenían que trasladar a veces a grandes distancias, como debió ocurrir en la construcción de muchos monumentos de la antigüedad, como las pirámides, por ejemplo?. Pues bien, vea-

*La masa negativa puede emplearse para lograr el apantallamiento gravitacional.*

*Un caso para la compensación de la masa a examen .*

mos cómo podemos argumentar desde la existencia de masa negativa. Supongamos que tenemos una alfombra delgada y de densidad uniforme,  $\delta$ , en gramos /  $\text{cm}^2$  . Una masa negativa, hemos visto que cae hacia la Tierra y esto es lo que le ocurrirá a una alfombra, naturalmente. El campo gravitacional fuera de una alfombra aislada es  $g = 2 G \delta r$ , siendo  $r$  el vector que apunta hacia fuera de la alfombra. Esto es válido para una masa en forma de hoja infinita. Ahora bien, el campo gravitacional por encima de la alfombra situada en el suelo es  $g = - M G / R^2 r + 2 G \delta r$ , siendo  $M$  y  $R$  la masa y el radio de la Tierra. Si  $\delta = M/2R^2$ , desaparece el campo gravitacional, ya que  $g = 0$ . El valor de la densidad de masa es de  $7 \times 10^9$  gramos/ $\text{cm}^2$ . Podríamos suspender un objeto de cualquier masa, aunque precisaríamos como masa negativa la de un pequeño asteroide, para construir un metro cuadrado, con lo que no es muy rentable el procedimiento. Motivo de estudio y análisis. ¡No cabe duda!



H T Ma



## TRAZO 4.17

## Memoria cuántica en fotones

La transmisión veloz de información ha sido una constante en la historia de la Ciencia y la Tecnología. Ciertamente la evolución ha sido de vértigo. No hace tanto que la transmisión se efectuaba empleando la misma tecnología que la voz a través del par telefónico. Si la temperatura ambiente es de 15 °C, el sonido se propaga a 340 m/s (1224 km/h ), lo que se denomina 1 MACH. La voz humana, de la misma naturaleza que las ondas acústicas, era susceptible de transformarla en otro tipo de ondas que se podían transmitir a través de un conductor metálico. En este caso la velocidad de propagación es la de la luz, aproximadamente 300.000 kn/s. En la escala humana, instantáneamente.

*En la escala humana, la velocidad de la luz supone una transmisión instantánea.*

A mediados del XIX la idea era convertir las ondas acústicas en ondas eléctricas y poder transmitir las a grandes distancias, empleando conductores metálicos. Se requería un dispositivo que efectuara la transformación: el micrófono. Como la voz humana se extiende entre 20Hz y 20kHz, el micrófono tenía que capturar ese rango de frecuencias. Hoy sabemos que no es preciso transmitir todas las frecuencias y con un rango menor es suficiente, de forma que se reduce a capturar y transmitir entre 400 Hz y 4 kHz. La voz se distorsiona un poco, pero se entiende y caracteriza bien. No nos extraña que cuando oímos la voz de alguien por teléfono, percibamos diferencias con respecto a la percepción en directo.

*A mediados del XIX la idea era transformar las ondas acústicas en eléctricas y transmitir las a grandes distancias.*

El gran paso aconteció cuando se abordó la

*La conversión analógica en digital fue la clave.*

conversión analógica en digital. Es decir, una señal continua (analógica) se convertía en una discontinua (digital). Valores continuos se transformaban en valores numéricos procesables en un ordenador, que empleaba y emplea un sistema binario, por tanto, ceros y unos, exclusivamente. La telefonía normal emplea señales analógicas, pero la telefonía IP, actual, requiere un formato digital. Había que digitalizar la voz. Pero si tenemos en cuenta que nuestro oído es analógico, con un sistema de detección que es una membrana que vibra en el estado que corresponde a la fuente que origina la transmisión, precisamos tras esta una nueva conversión, ahora digital analógica, para percibirla. Estos procesos combinados se denominan *Procesado digital de señales*. (DSP). Esta conversión analógico digital requiere completar dos procesos, el muestreo, mediante el que se capta la señal analógica, teniendo en cuenta que cuantas más muestras se consideren más fidedigna será la señal que obtendremos y tras el muestreo tiene lugar la codificación, consistente en darle un valor a las muestras, ocurriendo, también, que, cuanto mayor número de bits le otorguemos, más parecida será la señal a la analógica. Cuando tenga la señal que alcanzar de nuevo el oído, hay que convertir la señal digital en analógica. Si tenemos en cuenta que la máxima frecuencia audible es de 20kHz, una frecuencia de muestreo del doble, por ejemplo, 40 kHz, es suficiente para digitalizar la voz. El estándar del CD se fijó en 44.1 kHz. Como la voz humana no alcanza nunca los 20kHz, ya que la de un bajo está en torno a unos 350 Hz y la de un soprano en torno a los 1000 Hz y la voz humana entre 70 y 1000 Hz, una frecuencia de 44.1 KHz es demasiado y requiere demasiado espacio para el almacenamiento, pudiendo

reducirse drásticamente. El teorema de Nyquist que establece que para reproducir una señal que sea matemáticamente reversible, la frecuencia de muestreo debe ser superior al doble de la frecuencia máxima a muestrear.. Así que, en el caso referido establece una frecuencia apropiada en 2100 Hz, aunque hoy la mayor parte de software y hardware permiten seleccionarla a voluntad. También el estándar de audio (CD) en sistemas domésticos se sitúa entre 11Hz y 22 Hz, redundando en la calidad, evidentemente. En audio profesional se emplean frecuencias en torno a 48 kHz o más, para registrar bien las altas frecuencias.

*La frecuencia de muestreo debe ser superior al doble de la frecuencia máxima a muestrear.*

Hoy día la transmisión se efectúa empleando la luz para el transporte de la información. Ya es tan cotidiano como la fibra óptica, que transporta señales luminosas, aunque hoy día hay guía-ondas que no precisan de equipos de comunicaciones. Usualmente los transmisores son láseres de diodo (incluso leds) que operan en la zona infrarroja, que presenta menor atenuación y dispersión. Generalmente se modula la intensidad, aunque se han ensayado modulaciones de fase y de frecuencia. Situando amplificadores que aportan una señal periódica regenerativa se alcanzan grandes distancias a costes moderados. Cuando los fotones llegan al punto de destino, se transforman en electricidad que se convierte en radiación de nuevo para volver al cableado.

*Hoy, la transmisión emplea la luz para el transporte de la información.*

Pero los fotones solo se han podido emplear para transmitir información y no para almacenarla. Ahora se propone una memoria que utiliza fotones individuales para almacenar datos, como ha comunicado Dong-Sheng Ding de la University of Science and Technology of China. La tecnología consiste en producir un fotón

*Los fotones solo se han empleado en transmitir información y no en almacenarla.*

*Un fotón representa la información de forma distinta a la digital convencional.*

único y almacenarlo en una nube cilíndrica de átomos de rubidio durante un tiempo de 400 nanosegundos. Tras ello se libera el fotón, cosa que no se había logrado hasta ahora. Los fotones representan la información de forma distinta a como se hace convencionalmente con los bits. Como es sabido, este solo puede tener dos estados, que denominamos 0 y 1. En cambio, un fotón tiene una estructura, ya que su momento angular orbital, que mide su helicidad, se puede manipular. Quiere decir que, en lugar de transmitir como una onda plana ordinaria, el fotón puede verse como una hélice con giro a derecha o a izquierda y a su vez con diferentes grados de giro.

*Al pasar de usar la polarización al momento angular del electrón, se han multiplicado las posibilidades de estados a emplear.*

Haciendo uso de esta propiedad (momento angular) se pueden codificar datos en la propia estructura del fotón. Esto tiene una gran ventaja sobre la explotación que actualmente se efectúa de los fotones. La forma convencional de utilización de los fotones ha sido a través de la polarización. Un fotón puede tener dos estados distintos de polarización: horizontal o vertical. Lo más inmediato es crear fotones en uno u otro estado y usar esta propiedad para codificar datos. La enorme ventaja de usar el momento angular es que el fotón puede producir un número infinito de estados diferentes de giro. Un solo fotón puede transportar una cantidad de información arbitrariamente elevada.

Desde hace mucho que se investiga la creación y detección de fotones con estructuras espaciales diferentes que puedan transportar información. Pero lo que faltaba es almacenar esos fotones incluyendo su forma y estructura detallada y liberándola en un momento posterior. Eso es lo que han logrado en la Universidad de Ciencia y Tecnología de China

en Hefel. Por vez primera se han generado fotones únicos (simples) con una estructura espacial compleja, se han almacenado en una nube de átomos de rubidio y se han liberado 400 nanosegundos después, afirmando que la estructura espacial de los fotones se preserva. Y esto es un avance significativo, porque, hasta ahora se habían realizado intentos similares, usando haces láser tan débiles que probablemente contenían un solo fotón en cada instante. Sin embargo no había forma de tener certeza de que los experimentos implicaban fotones únicos. Ahora se ha empleado una técnica denominada *mezclado espontáneo de cuatro ondas* para generar fotones únicos y se han almacenado en un conjunto atómico frío.

El almacenamiento y liberación de fotones únicos es una de las tecnologías que pueden posibilitar el Internet Cuántico, porque son la clave de los routers cuánticos. Las memorias que pueden preservar la estructura espacial de los fotones son las que pueden permitir construir este tipo de routers. Hay muchos otros factores concomitantes, desde luego, pero este puede ser el punto de partida cabal para las comunicaciones cuánticas del futuro.

*Se ha conseguido almacenar fotones únicos con estructura espacial compleja en una nube de átomos de rubidio manteniendo la estructura posteriormente.*

*Los fotones únicos posibilitan el Internet Cuántico.*



*[Handwritten signature]*

## TRAZO 4.18

## Menos trabajo para Dios

En los albores de la Humanidad, magia, mito y leyenda alimentaban creencias, sin atisbo alguno de ningún componente racional que las explicara. Hoy persiste la situación para algunos, pero son los menos. ¡qué triste vida la de los que solo la alimentan sin razón! Se ha documentado con leyendas la preocupación de que el cielo pudiera caer sobre las cabezas de los pocos que habitaban, en tiempos primitivos, la Tierra. ¿Por qué no iba a caer el Sol o las estrellas, en algún momento? Estas ideas pudieron atormentar hasta el punto de afectar al sueño y, desde luego, la tranquilidad, al permanecer la tensión de que todo pudiera caer encima. Hoy se puede traducir esto como signo de imbecilidad. Cierto. Pero no sería menor la pretensión de que alguien explicara por qué no ocurre tal cosa. Apoyarse, tan solo en que nos parezca que tal cosa no va a ocurrir, no es un razonamiento que soporte demasiados argumentos ni que aporte razones suficientes para convencer. ¿Por qué no caen los objetos estelares? ¿Quién los mantiene? ¿Cómo se mantienen? ¿Siempre han estado ahí? ¿Es cosa de magia? ¿Hay algún dios que se dedica a mantener la configuración que actualmente conocemos en el Universo? ¿Siempre ha sido así? ¿Qué significan las leyes de la Naturaleza? ¿Quién ha puesto en vigor esas leyes? ¿Se pueden modificar a capricho de alguien las leyes de la Naturaleza?

*La magia, el mito y la leyenda tuvieron su momento.*

*Se precisan argumentos y razones para convencer.*

El fraile y filósofo medieval Santo Tomás de Aquino, que vivió en el siglo XIII creyó poseer la explicación apelando a que Dios era el pri-

*Santo Tomás apeló a Dios como motor.*

*Newton dio una explicación más convincente.*

*Newton también apeló a Dios para justificar el origen del movimiento transversal que impedía que la Luna nos cayera encima.*

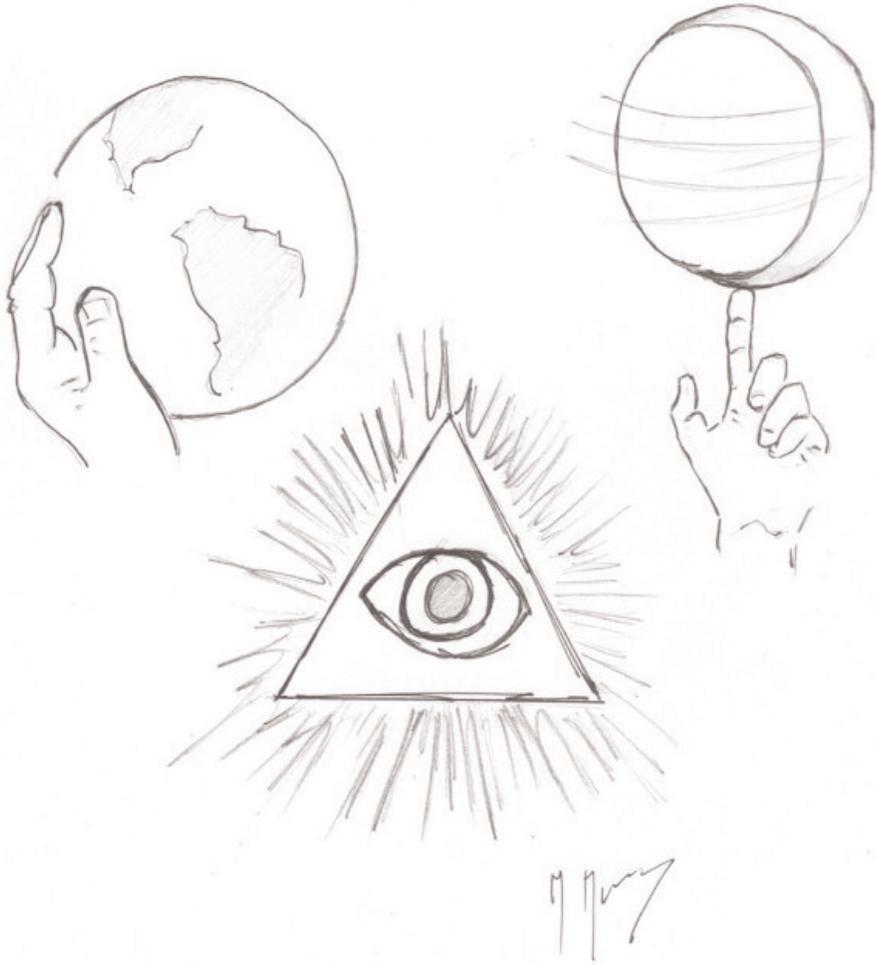
mer motor y el que había puesto en marcha a los objetos celestes. Esto implicaba que la configuración de los objetos estelares era eterna y el sistema resultaba ser imperturbable y no caería nunca sobre nosotros, porque así lo había dispuesto Dios. No se daba ninguna explicación ni detalle y, tan solo, se apelaba a una creencia. A finales del siglo XVII Newton logró dar una explicación más razonable, al lograr formular una teoría que explicaba tanto el movimiento orbital de los planetas, como la caída de los cuerpos hacia la Tierra. La Luna también caía hacia la Tierra como si se tratara de una piedra, pero tanto la esfericidad de la misma como el impulso en una dirección paralela a la superficie de la Tierra, eran las razones que producían las órbitas elípticas que había detectado Kepler en las trayectorias de los planetas. De no ser porque la Luna estaba animada de un movimiento transversal, hubiera caído sobre la Tierra como ocurre con cualquier otro objeto.

No obstante, Newton, que era profundamente religioso, también acudió a Dios, como antes hiciera Santo Tomás de Aquino, para dar explicación del origen de ese movimiento transversal que impedía que la Luna nos cayera encima. La cuestión, no obstante, es sumamente compleja, por cuanto la Tierra o la Luna, no son los únicos objetos que interaccionan entre sí. Hay muchos planetas. El Sol es mucho más grande que cualquier planeta y todos ellos describen órbitas en torno a él. Pero todos los planetas afectan a todos los demás. Las fuerzas que ejercen los planetas serán pequeñas comparadas con la que ejerce el Sol, pero su acción continuada podía afectar al sistema solar y dar al traste con el mismo, en algún momento. Newton no encontró mejor explica-

ción que acudir, de nuevo, a Dios para mantener el orden Cósmico. Con su infinito poder corregía las órbitas para que los efectos de los demás objetos del Universo, no afectaran el orden establecido.

Fue Kant, desde la filosofía (esto alimentará la autoestima de los filósofos) el primero que propuso que el sistema solar había evolucionado a partir de una nebulosa. Con los telescopios de la época se habían detectado varias nebulosas y acertó Kant con su proposición de que el origen estuvo en una nube de gas y polvo. Así que, era fácil deducir que tanto el Sol como los planetas habían heredado los movimientos que tuviera la citada nebulosa original, tanto de traslación como de rotación. Conforme se contraía la nebulosa y se formaban los planetas aumenta la velocidad de traslación. El giro coincide con el de la nebulosa. Se le había quitado trabajo a Dios, desde luego.

*Kant fue el primero en proponer que el sistema solar había evolucionado a partir de una nebulosa.*



## TRAZO 4.19

## Metabolómica y vegetales orgánicos

Hoy día hay una especial sensibilidad hacia los denominados vegetales orgánicos. Se conciben como sinónimos de saludables. Se presentan como la contrapartida a frutas, verduras y hortalizas transgénicas y tratadas con productos químicos tanto para fertilización como en pesticidas para defensa de plagas y herbicidas. Se denomina vegetal orgánico cuando no ha sido sometido a un proceso que incluye productos químicos de ninguna clase. A estos productos se les concibe como los más aproximados a lo natural. Forma parte de la denominada agricultura verde que surgió hace muchos años.

*Los llamados vegetales orgánicos no han sido sometidos a productos químicos de ningún tipo.*

Los vegetales orgánicos han perdido la perfección de forma y tamaño que lograron con tratamientos de carácter industrial. Se supone que recuperan el sabor "de antes". El concepto abarca también a animales: pollos, lácteos, mieles, etc. El movimiento pretende por una parte restituir la antigua calidad, sabor, apariencia, etc, al tiempo que contribuir a reducir la contaminación insufrible en que ha devenido la Humanidad, como consecuencia de la producción masiva.

*Los productos pierden la perfección de forma y tamaño usual.*

No cabe duda que también tienen desventajas los alimentos orgánicos. La capacidad de producción es más limitada, el tiempo requerido para la producción es mayor, el coste es superior, además, porque los riesgos, tamaños y cosechas están en desventaja con respecto a los convencionales. Solamente se pueden disfrutar en temporada, si se eliminan los transgé-

*Presentan, también desventajas.*

nicos, retornando a las variedades cuya cosecha se daba en fechas concretas y no abarcaban todo el año, como ahora. El almacenamiento tampoco disfruta de las cadenas de frío convencionales, recurriendo a la conserva, como antaño. Así pues, el consumo se beneficia por la ausencia de conservantes y de productos modificados genéticamente.

*No es raro que se beneficien de los tratamientos de las fincas colindantes.*

Pero, ciertamente, en un mundo tan convulso como el que vivimos, muy abierto a la picaresca, se antoja de uso corriente el que se trampee, ¡como no!, por ejemplo, aprovechando los tratamientos de las fincas colindantes, que sí emplean productos fitoquímicos y que amparan en gran medida la producción de las fincas vecinas. Por otro lado, no es nada extraño que fuera así, máxime cuando al no estar todavía valorada la producción orgánica, no es de extrañar que el mercado no disponga, todavía de elementos correctivos que graven las conductas desviadas. No hay garantía de que los vegetales en ausencia de productos fitosanitarios no desarrollen mecanismos donde los productos generados sean saludables. Se tendrán que defender, “naturalmente”. En todo caso el riesgo de comportamientos fraudulentos no solamente dañan los intereses de los consumidores y provocan quebrantos económicos distorsionando la competencia, sino que afectan a la reputación de los productores.

*Es necesario el control tanto de los efectos como de los productos*

lba siendo necesario disponer de métodos objetivos capaces de detectar diferencias que acrediten los productos orgánicos. Investigadores belgas han llevado a cabo un minucioso estudio metabólico haciendo uso de la espectrometría de masas y la cromatografía de gases de zanahorias cultivadas en diferentes medios agronómicos abarcando un periodo de

cuatro años. Se emplearon las variedades Nerac y Namur cultivadas con sistemas de cultivo convencionales y orgánicos. Los extractos de zanahoria fueron analizados usando cromatografía gaseosa de alta resolución acoplada a espectrometría de masas y posteriormente se llevo a cabo un tratamiento de análisis estadístico multivariante. Los compuestos fueron identificados haciendo uso de los procedimientos de metabolómica estándar y empleando métodos quimiométricos se lograron clasificar las muestras, de acuerdo con la practica agrícola que se les había aplicado y de esta manera se logró predecir el origen de muestras desconocidas. El trabajo concluye con la identificación de marcadores relacionados con el metabolismo de los carbohidratos y los mecanismos de defensa de las plantas, como responsables de las diferencias entre los sistemas de la agricultura convencional y la orgánica.

*Se han desarrollado métodos de control de la practica agrícola utilizada.*

El artículo de Cubero-Leon, De Rudder y Maquet que apareció en Food Chemistry en 2018, representa la primera vez que se emplea la aproximación metabolómica para autentificar alimentos orgánicos y se generan series de datos que permiten una validación de muestras que garantiza la predicción del origen desconocido de una muestra. El resultado es prometededor y establece una línea de trabajo capaz de aflorar los fraudes potenciales en un ámbito en el que se precisan garantías de que los productos han recorrido el itinerario por el que el consumidor paga un extra que esté justificado. Se abre una ventana para que circule aire fresco en el que curiosamente, es la Química y sus métodos de trabajo, los que tienen la capacidad de desvelar el uso fraudulento.

*La metabolómica permitió autentificar los alimentos orgánicos y el origen. Es la Química la que lo hace posible.*



Handwritten signature or initials.

## Moléculas ultrafrías

Las moléculas ultra-frías ofrecen muchas posibilidades para la investigación, dado que al tener muchos más grados de libertad que los átomos y las interacciones entre ellas y con los campos eléctricos aplicados, son mucho más fuertes. Si enfriamos moléculas hasta temperaturas de micro-Kelvin y las atrapamos durante unos minutos y disponemos de las herramientas requeridas para efectuar un control completo a nivel cuántico de todos los grados de libertad, podemos realizar unas medidas con precisión exquisita, dado que las moléculas a baja temperatura se mueven muy lentamente. Se puede medir el momento eléctrico dipolar y analizar la variación con el tiempo de las constantes fundamentales, con lo que podemos acceder a efectuar un test de las teorías físicas que pretenden ir más allá del modelo estándar de la física de partículas. Con la construcción de matriz de moléculas ultra frías se puede aprender a controlar el movimiento, la orientación y las interacciones de las moléculas en la matriz. Sin duda, esto es una nueva herramienta para comprender la física cuántica de las interacciones fuertes en sistemas de muchos cuerpos y tiene mucho interés en el procesado cuántico de la información.

El problema de conseguir enfriar moléculas a temperaturas muy próximas al cero absoluto es que las moléculas se mueven a cientos de kilómetros por hora, rotando, girando y generalmente con apariencia desordenada. Al enfriar las moléculas el orden disminuye y nos encontramos con una especie de nuevo escenario

*Las moléculas a baja temperatura se mueven muy lentamente.*

*Las matrices de moléculas ultrafrías permiten estudiar las interacciones.*

*Al enfriar las moléculas disminuye el orden.*

*Los átomos se bombardean con fotones para detener su movimiento.*

*Con campos eléctricos se consigue equilibrar la fuerza en los dos sentidos.*

físico y químico. Se ha logrado enfriar átomos a muy baja temperatura con un láser. Se consigue bombardeando los átomos con fotones láser y cada fotón imprime un pequeño momento en la dirección opuesta al movimiento de los átomos (como si le diera un empujón o una patada). Tras millones de choques de este tipo, los átomos están casi quietos. Sin embargo esto que funciona tan bien con los átomos, no funciona igual con las moléculas, ya que a diferencia de los átomos, las moléculas vibran y rotan. Cada molécula tras la colisión con el fotón, comienza a vibrar y este cambio de su energía interna puede hacer que no interactúe mucho con el láser. De forma que, el láser para enfriar moléculas directamente, se debe reemplazar por átomos ultrafríos que vengan a ser como un lago de enfriamiento en miniatura, donde sumergimos las moléculas calientes para enfriarlas.

Otro elemento clave es asegurar que las moléculas permanecen en el medio de enfriamiento aplicando las fuerzas necesarias para atrapar las moléculas. Esto se puede hacer empleando campos eléctricos, dado que la mayoría de las moléculas no son perfectamente simétricas, sino más bien tienen una carga positiva localizada en un punto y una negativa localizada en otro. Un punto con carga positiva en un campo eléctrico se ve empujado en un sentido y un punto negativo en el sentido contrario. Si el campo es uniforme, la fuerza neta que se ejerza sobre la molécula será nula, por compensación, al ejercer la misma fuerza en ambos sentidos. Si el campo no es uniforme las fuerzas no estarán balanceadas y la molécula se moverá. De esta forma, con campos eléctricos no uniformes se pueden confinar moléculas en el lago de enfriamiento.

Las aplicaciones de las moléculas ultrafrías se dan en muchos campos. Una de ellas es la relativa a la simetría. Alcanzando temperaturas por debajo de 100 miliKelvin, es decir, 0.1 °C por encima del cero absoluto, casi todas las moléculas están en sus estados cuánticos de vibración y rotación más bajos y son suficientemente lentas para quedar atrapadas para siempre. En este grado de control, es posible encarar alguno de los interrogantes fundamentales de la simetría en la Naturaleza: ¿por qué está hecho el Universo de materia y no de antimateria? ¿cambian las leyes de la Naturaleza si cambiamos el sentido del tiempo? ¿son realmente invariables las constantes fundamentales o tienen valores que cambian en una escala de tiempo cosmológica? ¿cómo puede ser sensible una molécula a estas cosas? Una vez que controlamos las moléculas, son válidas todas las herramientas de medida desarrolladas para estudiar los átomos. Si hacemos que salgan moléculas podemos medir los finísimos cambios que se provocan en la energía, bien variando una de las constantes fundamentales o bien la asimetría entre materia y antimateria. Estos efectos son pequeños, pero pueden ser mucho mayores en moléculas que en átomos, dado que la molécula tiene múltiples grados de libertad (electrónicos, vibracionales y rotacionales) cada uno de los cuales se puede usar para construir un reloj. Con una sola molécula tenemos múltiples relojes que operan a muy diversas frecuencias y si una constante fundamental cambia, se observará cuando se comparen las frecuencias de esos relojes. Otra diferencia importante con los átomos es que las moléculas tienen cargas residuales y es fácil alinearlas aplicando un campo eléctrico. Se puede medir si depende la frecuencia de un

*Las moléculas ultrafrías tienen muchas aplicaciones.*

*En moléculas se puede estudiar las constantes fundamentales o la asimetría entre materia y antimateria.*

*La Química supone un control sin precedente sobre las reacciones químicas.*

reloj molecular de la alineación con un campo magnético, que sería una señal clara de que las leyes de la Naturaleza dependen del sentido del tiempo. Por último, en Química, supone un control sin precedente sobre las reacciones químicas, ya que podemos elegir los estados cuánticos, la energía y la orientación de la reacción y podemos aplicar campos eléctricos y magnéticos para provocar el “on o el off” de las reacciones o variar sus velocidades.

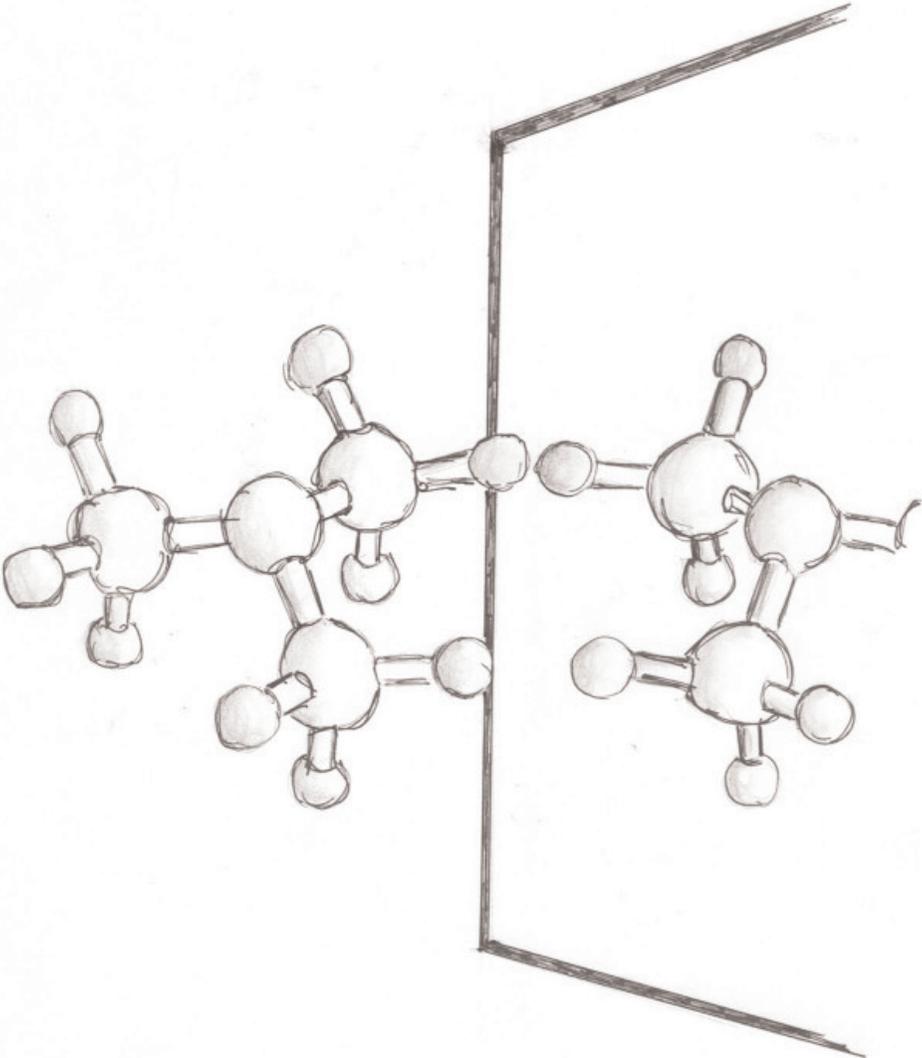
*También es posible el control de las moléculas biológicas.*

También se puede tener el mismo grado de control en las moléculas biológicas. Esto permite poder desentrañar las propiedades con mayor detalle, obteniendo una mejor comprensión de las moléculas que constituyen los bloques de la vida. Un escenario fascinante, también en el ámbito de la simetría, es el de la arbitrariedad de la simetría de las moléculas. Decimos que una molécula difiere, cuando no es la misma que su imagen especular. Cuando se sintetizan aminoácidos en el laboratorio, al final se obtiene una mezcla equilibrada de variantes levógiros y dextrógiros, pero en la Naturaleza los aminoácidos son levógiros. No se comprende bien cuál es la razón, pero las medidas precisas de la energía de las moléculas con simetría especular a baja temperatura pueden resolver la incógnita.

Cuando nos situamos a miliKelvin del cero absoluto, es decir a milésimas, el movimiento de las moléculas se parece al de unas bolas de billar. La naturaleza totalmente cuántica de las moléculas solamente se pone de relieve cuando su temperatura se sitúa a microKelvin o menos, es decir a unos 0.000001 grados por encima del cero absoluto. Es entonces cuando las moléculas del gas se comportan cooperativamente y son capaces de construir estructu-

ras ordenadas. Las interacciones son del tipo dipolo-dipolo, es decir, la parte final de una molécula, cargada positivamente se repele con la otra parte positiva de otra molécula. Estas interacciones son de largo alcance, de forma que cada molécula es sensible a la posición y orientación de todas las demás moléculas del gas. Esta es una situación muy especial, que permite al gas que se establezca un orden de largo alcance y así se pueden estudiar los denominados fenómenos exóticos, como la superfluidez, la superconductividad y las transiciones de fase cuánticas. Hay una enorme cantidad de retos de desarrollo tecnológico a superar antes de que se logre el potencial que suponen las moléculas frías. Buena parte de ellos son fascinantes, aunque no cabe duda de que son las aplicaciones las que más motivan el trabajo en este campo.

*La superfluidez, la superconductividad y las transiciones cuánticas, es posible estudiarlas.*



*[Handwritten signature]*

## TRAZO 4.21

## Moléculas y música

No hay nada nuevo si se refiere la asociación de la música con las matemáticas. No parece necesario acudir a referir al mismísimo Pitágoras para recordar que la componente acústica de la música es inseparable de los números. La música de contrapunto del final del medioevo descansa en números para conciliar las voces concebidas separadamente. Ya en el siglo XIV los compositores practicaban juegos matemáticos con el sonido. La propia medida de la música occidental consiste en multiplicar o dividir unidades de tiempo estándar. En Oriente y ahora de forma creciente en occidente, es práctica común efectuar adiciones de tales unidades. El uso de las matemáticas, no parece ser lo más significativo hoy día, sino la predominancia de las influencias lingüísticas del pasado. Hay recursos hoy populares como emplear la serie de Fibonacci, en el que cada término es la suma de los dos precedentes, para la determinación del tono, la duración de la nota o establecer proporciones entre secciones. Supone una organización que no es tan regular como una progresión aritmética o geométrica, pero conlleva orden y proporción. Las secciones así organizadas se aproximan a una serie de oro que puede ser una referencia organizativa. Los compositores han hecho uso de cualquier conjetura que podamos hacer en relación con las matemáticas. La teoría de la probabilidad, la de la información, la ordenación en serie de una o varias dimensiones del sonido, las teorías musicales, etc. Según Crawford, en el diccionario de Música contemporánea de Vinton se incluyen hasta cinco columnas en el epígrafe "matemáticas".

*La componente acústica de la música es inseparable de los números.*

*El uso de las matemáticas no es lo más significativo hoy día, sino las influencias lingüísticas del pasado*

*Los compositores tienen limitaciones derivadas de la resistencia de los materiales.*

Cabe citar que los compositores tienen limitaciones derivadas de la resistencia de los materiales, por ejemplo. La elección de los sonidos, en virtud de los sintetizadores electrónicos no está limitada a timbres de instrumentos, voces humanas o divisiones de la octava en tonos equidistantes, como es usual en la música occidental. Hoy, hay que seleccionar materiales y establecer límites. Stravinsky fue muy explícito en esta cuestión cuando decía "*si nada me ofrece resistencia, entonces es inconcebible cualquier esfuerzo... en el arte como en cualquier otro entorno uno debe construir solamente sobre una resistencia fundada*". La lógica matemática, quizás proporcione limitaciones a la imaginación libre para deambular. Todos los dispositivos matemáticos incrementan la tendencia a la abstracción. La Ciencia ha pasado por etapas de abstracción creciente en esa incesante búsqueda de leyes únicas en las que amarrar la Naturaleza misma. Las Matemáticas han llegado a ser el lenguaje en la que la comprensión de la Naturaleza se ha expresado. Las artes, en cambio han seguido un camino diferente, entre otras cosas, para reflejar realidades básicas, más allá de la fachada de la Naturaleza. La estructura parece ser la clave. No la materia. También del Universo.

*Según Bronowski, el arte moderno y la Física moderna comienzan al mismo tiempo.*

Crawford atribuye a Bronowski la reflexión de que el arte moderno y la Física Moderna comienzan al mismo tiempo, dado que parten de las mismas ideas; trabajan ambas con elementos diminutos; construyen de dentro hacia fuera; desde la partícula dentro del átomo, desde el punto de color del pintor, desde el módulo del escultor, desde la unidad de sonido

del músico. El músico no comienza con un tema. Sus tonos no son miembros de una familia de siete tonos con un centro sobre el que gravitan los demás tonos. Son entidades separadas, que se usan en cualquier orden o combinación. Los doce tonos de una octava son los mismos de siempre. Ahora bien, esa igualdad indiferente y aparente de los elementos, es una premisa del nihilismo.

Desde otro punto de vista, esta igualdad, cuando nos referimos a los átomos y moléculas de la naturaleza, las cosas son diferentes. Un átomo de carbono, se une con otros de la misma clase y forman patrones de moléculas tan diferentes como el grafito y el diamante. Cuando se combinan tres tonos a ciertas distancias fijas entre ellos, no se crea un tema, sino una molécula o célula, tres puntos de sonido, conformando un triángulo, reteniendo su identidad en cualquier movimiento. A partir de la molécula crece una pieza de música, ya como una delicada y abierta estructura de sonidos y silencios. En la Naturaleza pueden darse estructuras muy diversas. Esta es una forma distinta de construir un nuevo tipo de orden basado en cluster discretos, que incluso cambian las relaciones entre ellos. La unidad de composición está situada a nivel "molecular" y no como una forma emergente de secciones y repeticiones, equilibradas en un discurso que soporta el contenido dramático, el conflicto y la resolución, por ejemplo, de una forma de sonata. David Bohm opinó que la Ciencia y el Arte son complementarios y el propio Heisenberg opinaba que en la actualidad hay un sentido de la vida que percibe al hombre en relación a la Tierra en su conjunto y contempla la Tierra en el Cosmos como si fuera otra estrella más.

*Un átomo de carbono se une con otros de la misma clase y forman patrones diferentes como grafito o diamante.*

*La Ciencia y el Arte son complementarios, según David Bohm.*

*La música en la coordenada tiempo muestra poco movimiento, pero espacialmente si lo tiene. Dónde y no cuando emergerá el siguiente sonido, es la clave.*

La música hoy se concibe, excepciones populares, como un flujo de sonido suave y constante, con discontinuidades de tensión articuladas a través de silencios, yuxtaposiciones y "momentos". En la coordenada tiempo muestra poco movimiento, pero sí llama la atención su comportamiento espacial, es decir, donde y no cuando emergerá el siguiente sonido. Esta estructura supone una abstracción que va más allá, no solo de las palabras, sino de los distintos perfiles de la voz. Este tipo de música, en opinión de algunos melómanos, en su nivel de abstracción, supone una deshumanización. Pero eliminar la componente temática de la música, o la cara humana de la pintura, o el yo de la poesía, no necesariamente supone deshumanizar el arte. Perfectamente, puede ser un camino para extender el alcance en el mundo. Ortega nos habla de ello, precisamente en "*La deshumanización del Arte*", ensayo del que parece que se conoce mejor el título que la esencia, ya que usa el término deshumanización como un término de elogio. En su propuesta, la creación artística requiere estilización y estilización significa des-realizar, deformar, des-humanizar, en orden a extraer el significado intrínseco de una confusión con el hecho y una contaminación del sentimiento.



M. M. /



## TRAZO 4.22

## Muchos átomos y moléculas

Podemos tener la impresión de que vivimos en un mundo cambiante, en cierta medida caótico, que nos sorprende sin cesar y que vamos comprendiendo muy lentamente. Incluso volvemos a cosas ya explicadas aplicando nuevas ideas que parece que se ajustan mejor a los hechos. Si algo parece que nos deja boquiabiertos es la diversidad. A poco que analicemos las cosas, reparamos en el gran número de combinaciones que pueden formarse con los mismos átomos variando el número de los que intervienen y las formas en que los combinamos. La cuestión es si se trata de un número infinito de combinaciones o si existen reglas y patrones que limitan el resultado.

*Si algo nos deja boquiabiertos es la diversidad.*

La primera consideración que debemos hacer es sobre el concepto de cantidad química. El antecedente de este pensamiento fue Avogadro. Perrin lo definió como el número de átomos contenidos en un mol de hidrógeno. Después se redefinió como el número de átomos que hay en 12 gramos del isótopo de carbono-12 y después se generalizó a los demás elementos y moléculas incluyendo sus pesos moleculares. Se adoptó como Constante de Avogadro cuando se introdujo el concepto de mol como unidad de referencia. En el Sistema internacional, que incorpora como unidad básica la cantidad de sustancia, la Constante de Avogadro tiene unidades de mol<sup>-1</sup>.

*Perrin definió el número de Avogadro como el de átomos contenido en un mol de hidrógeno.*

La idea de la Constante de Avogadro proviene de que en 1811, Avogadro propuso una concepto revolucionario para comprender los pro-

*El volumen de un gas, a una presión y temperatura concretas no depende de la sustancia que lo constituye, es proporcional al número de unidades.*

cesos que acontecen en los gases: el volumen de un gas, a una presión y temperatura concretas, no depende de la sustancia que lo constituye, solamente es proporcional al número de unidades de ellos, independientemente de su naturaleza. Todas las sustancias tienen el mismo número de átomos o moléculas con tal que la presión y temperatura sean las más mismas. Perrin propuso dar el nombre de Avogadro a esta constante y recibió el Nobel en 1926, principalmente por los trabajos de determinación del valor de la constante de Avogadro. Loschmidt fue el primero en efectuar en 1865, una estimación del diámetro medio de las moléculas en el aire, algo así como calcular el número de partículas que puede contener un volumen determinado de un gas, es decir la densidad del gas, que es proporcional a la constante de Avogadro.

*No fue fácil aceptar la hipótesis de Avogadro.*

No fue fácil aceptar la hipótesis de Avogadro ya que, según él, dos volúmenes de hidrógeno se combinan con un volumen de oxígeno, para dar solamente dos volúmenes de agua. Aquí está contenido el concepto de molécula como el agregado de átomos, iguales o distintos, con existencia independiente que conservan las propiedades del conjunto. Los átomos, por tanto, no tienen por qué tener existencia separada individualmente. La Constante de Avogadro es espectacular:  $6.023 \times 10^{23}$  moléculas/mol. Veamos la incidencia que tiene. Supongamos que el número de átomos total es constante (salvo en las modificaciones que suponen las reacciones moleculares) En un mol de agua, 18 gramos, hay el número de Avogadro de moléculas de agua:  $6.023 \times 10^{23}$  moléculas mol<sup>-1</sup>. Si suponemos la densidad en la unidad, en un litro de agua tendremos

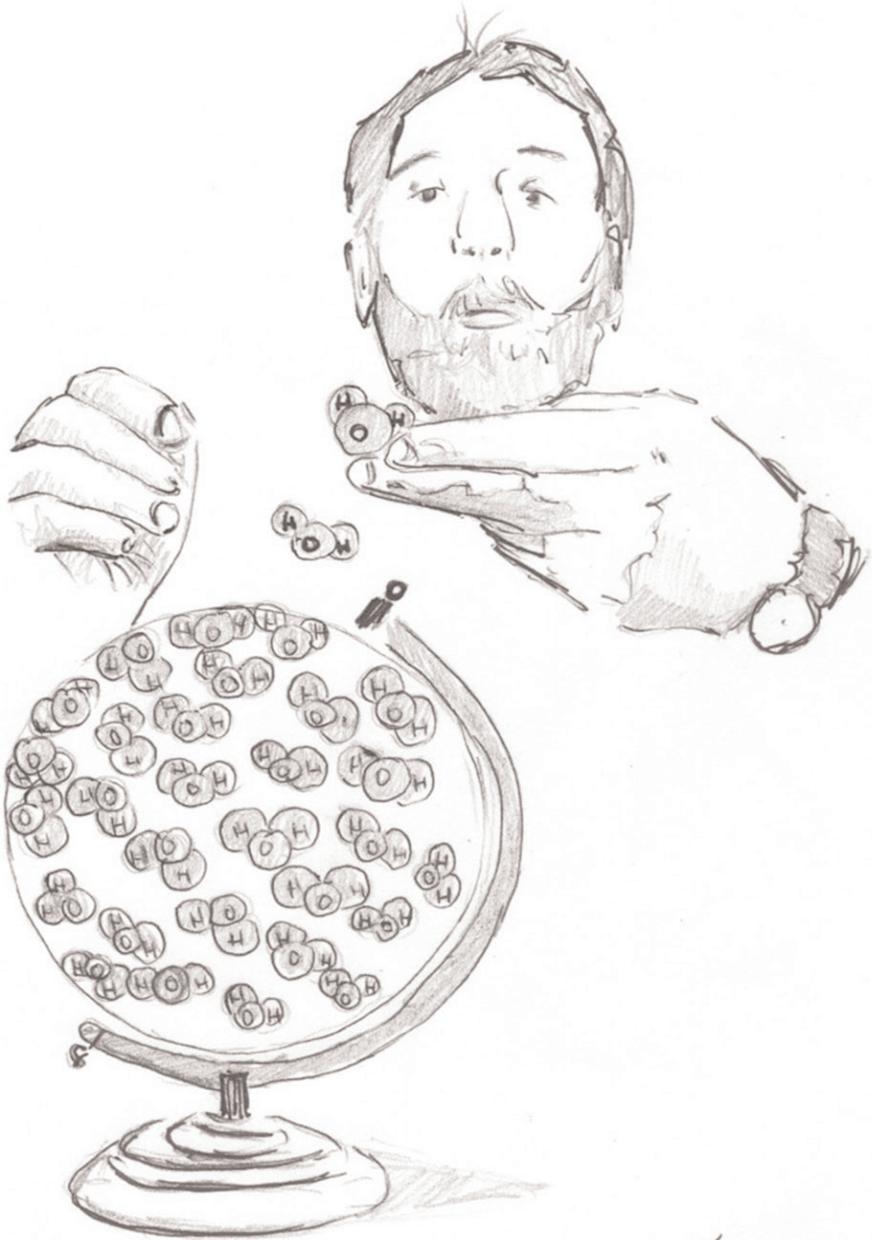
*La constante de Avogadro es espectacular.*

1000gr/18gr/mol x  $6.023 \times 10^{23}$  moléculas/mol es decir, del orden de  $10^{26}$  moléculas. Los átomos principales incorporados en el cuerpo humano son: oxígeno, 65%; carbono, 19%; hidrógeno, 10%; nitrógeno, 3.2%; calcio, 1,38%; fósforo, 0,64%; potasio, 0,22% y cloro, 0,28%. Ahora bien, molecularmente, el agua es el compuesto más abundante, alcanzando hasta un 75% en el nacimiento y se mantiene en torno a un 60% en forma adulta. Casi el 60% es celular y el resto se encuentra en la sangre. Un cuerpo humano de 75 kilogramos, solamente considerando las moléculas de agua, contendrían  $0.6 \times 75.000/18 \text{ mol} \times 6.023 \times 10^{23}$  moléculas/mol, es decir, del orden de  $10^{28}$ . Si consideramos el carbono que es el siguiente más numeroso:  $0.2 \times 75.000/12 \text{ mol} \times 6.023 \times 10^{23}$ , es decir del orden de  $10^{26}$  más. El orden, por tanto, se mantiene en  $10^{28}$  moléculas en el cuerpo humano. Todas las moléculas contenidas en seres humanos alcanzan la cifra de  $10^{38}$  moléculas. Como la Tierra tiene una masa de  $5.972 \times 10^{24}$  kilogramos. La composición de la Tierra es: hierro, 34.6%; oxígeno, 29.54%, silicio, 15.2%; magnesio, 12,7%; níquel, 2,4%; azufre, 1.9% y Titanio, 0.05%. El agua cubre un 71% de la superficie (97% de agua salada y 3% de agua dulce). La masa de la hidrosfera es de  $1.4 \times 10^{23}$  kg. El "mol de Tierra" se puede establecer en 38 gr. Así pues, el número de "átomos" y/o "moléculas" que hay en la Tierra es del orden de  $5.972 \times 10^{27} \text{ gr} / 38 \text{ gr/mol} \times 6.023 \times 10^{23} = 10^{50}$  átomos. Número realmente espectacular.

*La Ciencia y el Arte son complementarios, según David Bohm.*

*En el cuerpo humano hay del orden de  $10^{28}$  moléculas.*

*El número de átomos y/o moléculas que hay en la Tierra es del orden de  $10^{50}$  átomos.*



M. Requena















ISBN 978-84-09-05110-6

