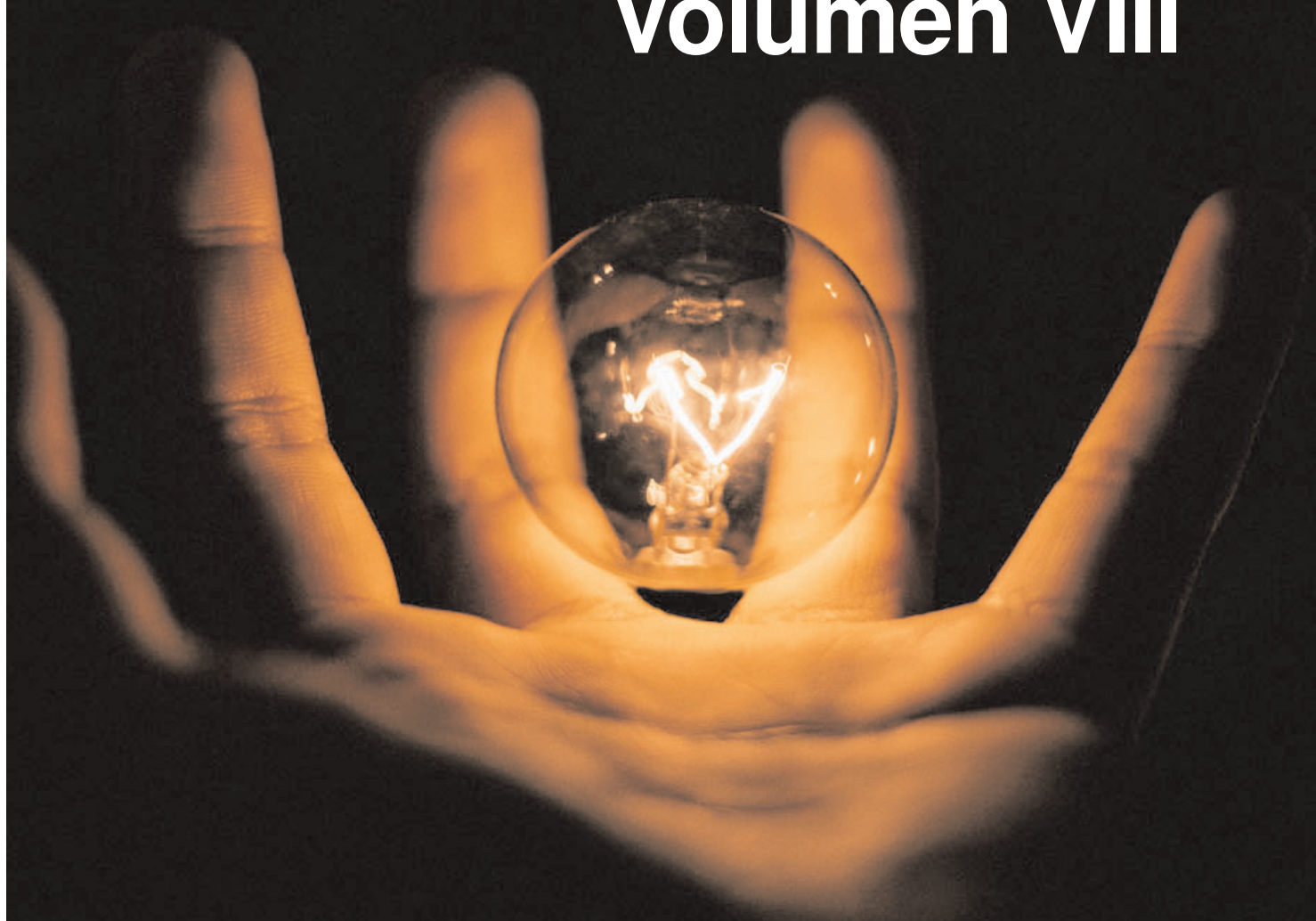


Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen VIII



Alberto Requena R..



Pensándolo bien...

Lecturas

Volumen VIII



Alberto Requena R..

**Académico Numerario de la
Academia de Ciencias de la
Región de Murcia.**



Datos de Catalogación Bibliográfica

Pensándolo bien... Vol.VIII
Lecturas

Alberto Requena r..

ISBN:

Materia: Ciencia y Tecnología
Formato: 160 x 235 Páginas 210

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

©2023 por Academia de Ciencias de la Región de Murcia.

Pensándolo bien... Vol. VIII
Lecturas

Alberto Requena R.
ISBN

Depósito Legal:

Equipo Editorial

Editor: Alberto Requena R.

Técnico Editorial:

Equipo de Producción

Director:

Técnico:

Diseño de Cubierta: Alberto Requena R.

Impreso por:

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 también ejerce y gestiona con eficacia y acierto, me comprometió a seguir escribiendo sobre Ciencia y yo acepté la oferta gustosamente. Desde entonces y como siempre, todas las semanas que la Academia publica su blog, cuenta con mi aportación. Es un placer para mi esta colaboración. Sigo aprendiendo mucho de lo que la Ciencia ha aportado. Siempre es reconfortante disfrutar y desgranar el conocimiento que la Humanidad ha alcanzado, gracias a la Ciencia. 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, por sus sugerencias e inteligentes aportaciones. De ella sigo aprendiendo mucho.

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



Prólogo

[illegible]

Prólogo

[illegible][illegible]

Ángel Ferrández Izquierdo
Catedrático de la Universidad de Murcia
Presidente de la Academia de Ciencias de la Región de Murcia

Otoño de 2023

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
Académico numerario de la Academia de Ciencias de la Región de Murcia

Otoño de 2023

Contenido breve

VOLUMEN VIII

- Trazado 1 Progreso, 1
- Trazado 2 Economía científica circular, 89

VOLUMEN I

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

VOLUMEN II

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

VOLUMEN III

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

VOLUMEN IV

- Trazado 1 Nuevos tiempos, 1
- Trazado 2 Otra vuelta, 125

VOLUMEN V

- Trazado 1 Persistencia, 1
- Trazado 2 Principio, desarrollo y final, son importantes, 129

VOLUMEN VI

- Trazado 1 Siempre hay más, 1
- Trazado 2 Ciencia necesaria, 91

VOLUMEN VII

- Trazado 1 Un nuevo mundo, 1
- Trazado 2 Mundo sostenible, 93

Contenido

TRAZADO 1

Progreso, 1

Trazo 1.1	Memoria inorgánica. -3-
Trazo 1.2	Cerce...lejos.-7-
Trazo 1.3	Comunicación y comprensión. -11-
Trazo 1.4	Cerebro cuántico. -15-
Trazo 1.5	Trabajanado sobre femtosegundos.-19-
Trazo 1.6	Partículas entrelazadas -23-
Trazo 1.7	Billar cósmico. -27-
Trazo 1.8	El tiempo se encoge. -31-
Trazo 1.9	e-Basura. -37-
Trazo 1.10	Confluencia científica. -41-
Trazo 1.11	El Silicio revive. -47-
Trazo 1.12	Efecto cuántico nuclear. -51-
Trazo 1.13	Viendo la Química. -55-
Trazo 1.14	La mente de los ordenadores. -59-
Trazo 1.15	Vivir del aire. -63-
Trazo 1.16	Secreto cuántico de la vida. -67-
Trazo 1.17	Energía verde genuina. -71-
Trazo 1.18	Navidades luminosas. -75-
Trazo 1.19	Tiempo de tradiciones: la mirra. -79-
Trazo 1.20	Moldeando el mundo. -83-

TRAZADO 2

Economía científica circular, 89

Trazo 2.1	Guía musical del Universo. -91-
Trazo 2.2	Electrogotas. -95-
Trazo 2.3	El swing del jazz:
Trazo 2.4	Trigo sin gluten -103-
Trazo 2.5	IA en Química. -1075-
Trazo 2.6	Fomentando la reflexión. -111-
Trazo 2.7	Hidrógeno para la vida. -117-
Trazo 2.8	Residuos como materia prima. -121--
Trazo 2.9	Programación sintética. -125-
Trazo 2.10	Circuitos moleculares. -131-
Trazo 2.11	Trasvases de ideas. -135-
Trazo 2.12	Fotosíntesis altamente eficiente.-141-
Trazo 2.13	Tono menor. -145-
Trazo 2.14	Hipervectores y razonamiento simbólico.-153-
Trazo 2.15	Inteligencia artificial generativa. -161-
Trazo 2.16	Así es,pero solo lo parece.-167-
Trazo 2.17	Dimerización combinatoria.-173
Trazo 2.18	Algoritmos verdes -179-
Trazo 2.19	Digitalizando la Química. -185-
Trazo 2.20	Espectroscopía de impedancia. -189-

Imágenes

Nuestro agradecimiento a los autores de las imágenes que a continuación se relacionan, indicando el trazado en el que se encuentran incluidas, todas ellas procedentes de la plataforma Unsplash.

TRAZADO 1

- 1.01 Foto de Samsung Memory en Unsplash
- 1.02 Foto de S. Widua en Unsplash
- 1 03 Foto de Quino Al en Unsplash
- 1.04 Foto de Xiao Cui en Unsplash
- 1.05 Foto de Kunj Parekh en Unsplash
- 1 06 Foto de Mario Verduzco en Unsplash
- 1 07 Foto de Theo Bickel en Unsplash
- 1 08 Foto de Jon Tyson en Unsplash
- 1 09 Foto de Greg Rosenke en Unsplash
- 1 10 Foto de Pierre-Axel Cotteret en Unsplash
- 1.11 Foto de Laura Ockel en Unsplash
- 1.12 Foto de Ben Wicks en Unsplash
- 1.13 Foto de Vedrana Filipovi? en Unsplash
- 1.14 Foto de Nick Morrison en Unsplash
- 1.15 Foto de Victor en Unsplash
- 1.16 Foto de Melissa Askew en Unsplash
- 1.17 Foto de Noah Buscher en Unsplash
- 1.18 Foto de laura adai en Unsplash
- 1.19 Foto de Javardh en Unsplash
- 1.20 Foto de Brandi Alexandra en Unsplash
- portada Foto de Rohan Makhecha en Unsplash

TRAZADO 2

- 2.01 Foto de paweldotio en Unsplash
- 2.02 Foto de Anton Darius en Unsplash
- 2.03 Foto de dimitri.photography en Unsplash
- 2.04 Foto de Crina Parasca en Unsplash
- 2.05 Foto de ZHENYU LUO en Unsplash
- 2.06 Foto de Mariia Shalabaieva en Unsplash
- 2.07 Foto de Anders Drange en Unsplash
- 2.08 Foto de Ethan Bodnar en Unsplash
- 2.09 Foto de Photoholic en Unsplash
- 2.10 Foto de National Cancer Institute en Unsplash
- 2.11 Foto de Uriel SC en Unsplash
- 2.12 Fotosíntesis altamente eficiente
- 2.13 Foto de Alexandre St-Louis en Unsplash
- 2.14 Foto de Priscilla Serneo en Unsplash
- 2.15 Foto de Gerard Siderius en Unsplash
- 2.16 Foto de Jon Tyson en Unsplash
- 2.17 Foto de Jared Craig en Unsplash
- 2.18 Foto de Markus Spiske en Unsplash
- 2.19 Foto de Vedrana Filipovi? en Unsplash
- 2.40 Foto de John Barkiple en Unsplash

TRAZADO 1

PROGRESO.

1. Introducción. -1-
- 1.1. Memoria inorgánica. -3-
- 1.2. Cerce...lejos.-7-
- 1.3. Comunicación y comprensión. -11-
- 1.4. Cerebro cuántico. -15-
- 1.5. Trabajanado sobre femtosegundos.-19-
- 1.6. Partículas entrelazadas -23-
- 1.7. Billar cósmico. -27-
- 1.8. El tiempo se encoge. -31-
- 1.9. e-Basura. -37-
- 1.10. Confluencia científica. -41-
- 1.11. El Silicio revive. -47-
- 1.12. Efecto cuántico nuclear. -51-
- 1.13. Viendo la Química. -55-
- 1.14. La mente de los ordenadores. -59-
- 1.15. Vivir del aire. -63-
- 1.16. Secreto cuántico de la vida. -67-
- 1.17. Energía verde genuina. -71-
- 1.18. Navidades luminosas. -75-
- 1.19. Tiempo de tradiciones: la mirra. -79-
- 1.20. Moldeando el mundo. -83-

TRAZADO 1

PROGRESO.

El progreso y la ciencia son dos términos que engloban una vasta cantidad de acontecimientos y descubrimientos que han forjado la trayectoria de la Humanidad a lo largo del tiempo. En esencia, la ciencia se ha convertido en la herramienta principal para alcanzar el progreso, permitiendo a la humanidad avanzar y expandir su entendimiento del universo y mejorar su calidad de vida.

La Ciencia, en su definición más pura, es la búsqueda metódica y sistemática de conocimientos. A través de observación, experimentación y análisis, la ciencia nos permite desentrañar los misterios de nuestro mundo y más allá. A lo largo de la historia, las contribuciones de la Ciencia han sido innumerables. Desde la invención de la rueda, pasando por el desarrollo de la medicina, hasta los logros recientes en la inteligencia artificial y la exploración espacial, la Ciencia ha sido una fuerza motriz para la mejora constante de nuestra existencia.

En el progreso no solo se trata de avances tecnológicos.

En el progreso, es importante distinguir que no solo se trata de avances tecnológicos, sino también de evolución social, política y ética. El progreso es un ideal que se aspira a alcanzar, un estado de mejora continua, que permite a las sociedades prosperar. Se evidencia en la reducción de la pobreza, en la equidad y la inclusión, en el mejoramiento de la salud y la educación, y en una mayor comprensión y respeto por nuestro planeta.

La Ciencia es una herramienta que permite al progreso materializarse.

La relación entre Ciencia y progreso es indudable. La ciencia es una herramienta que permite al progreso materializarse, ofreciendo soluciones a los problemas que enfrentamos como sociedad. A través de la Ciencia, hemos podido desarrollar medicamentos y tratamientos que han mejorado la salud de las personas, hemos creado tecnologías que nos han permitido comunicarnos instantáneamente con personas de todo el mundo, y hemos desarrollado estrategias para combatir los desafíos ambientales, entre otras cosas.

En este libro, una colección de temas variados te esperan.

Sin embargo, es crucial entender que, aunque el progreso y la Ciencia están intrínsecamente ligados, no siempre avanzan de la mano. En ocasiones, el desarrollo científico ha desatado problemáticas éticas y sociales que requerían un análisis cuidadoso para determinar el rumbo a seguir. Es así que la intersección entre ciencia, ética y progreso se convierte en un terreno complejo y fascinante.

¡Disfruta! Deleitate pensándolos.

A pesar de estos desafíos, la ciencia y el progreso continúan marchando juntos hacia el futuro, siempre con el objetivo de mejorar la condición humana.

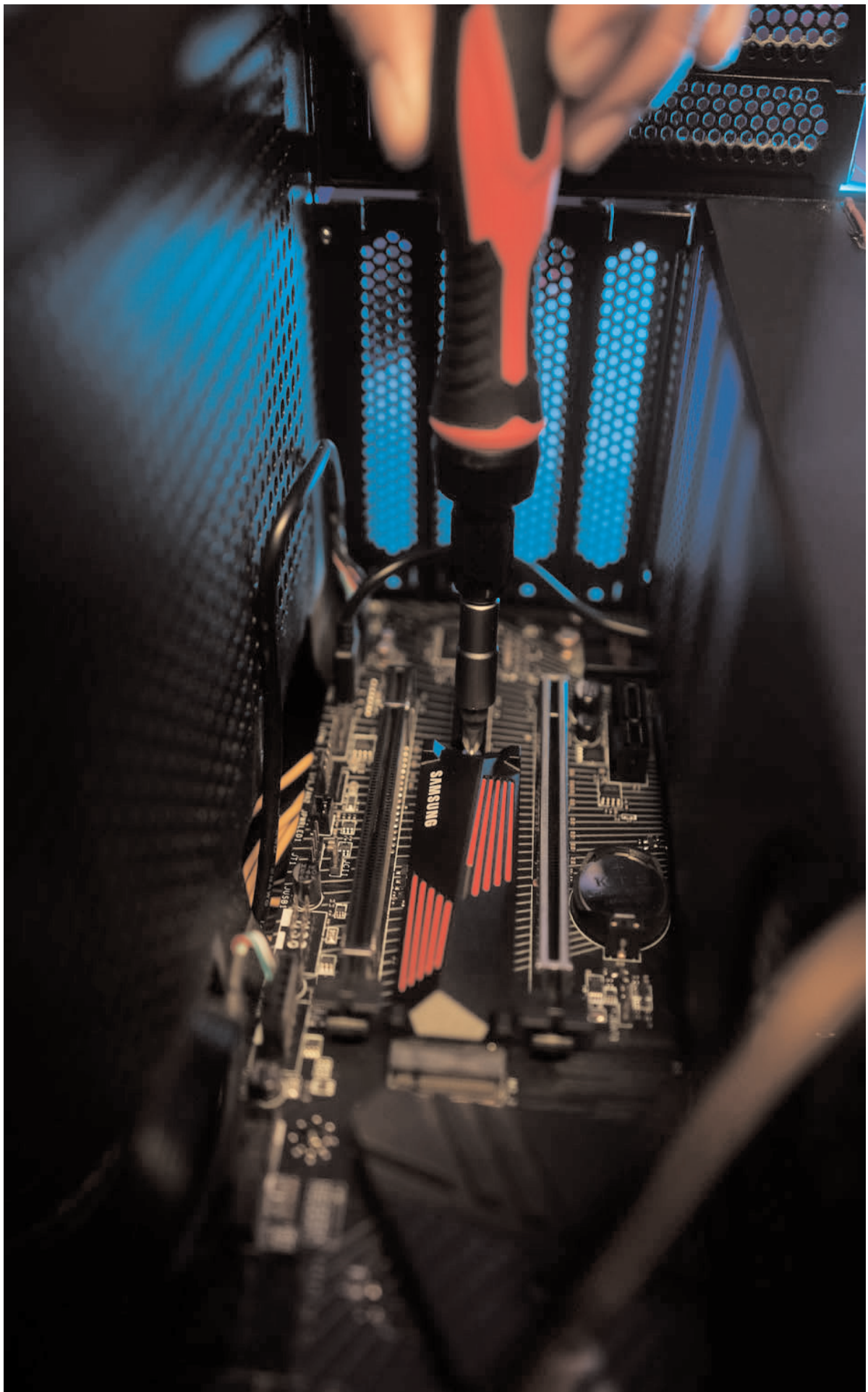
Deseamos que lo disfrutarás a tu manera.

T R A Z O 1 . 1

MEMORIA INORGÁNICA.

La obsesión por la vida ocupa nuestras preocupaciones cada vez de forma más intensa. En un tiempo hubo una transición de no vivo a vivo. A partir de los fósiles de rocas antiguas se ha concluido que la vida probablemente comenzó hace unos 4 billones de años, cuando la Tierra era muy joven. Muchos de los científicos piensan que se originó en el agua líquida. En realidad, nadie sabe cómo comenzó la vida en nuestro planeta. Ahora, estamos en el proceso contrario, de vivo a no vivo. La dependencia de los humanos de los objetos no vivos, limita lo que en forma natural debió darse de forma espontánea: el autoensamblaje de las sustancias que dieron origen a la vida. La investigación del proceso de generación de la vida es uno de los tópicos que más tiempo y dedicación investigadora ocupan. Tanto a nivel microscópico, molecular, como desde el punto de vista de posibilidades fisicoquímicas que propicien el autoensamblaje, enormes esfuerzos mantienen una investigación que se extiende en el tiempo. Mientras, se avanza en conocimientos que afianzan los elementos conceptuales para poder explicar el proceso más intrigante en todos los tiempos. A nivel más rudimentario, se ensayan modelos, métodos, conceptos, que pudieran dar una explicación convincente. El agua y el aceite no son miscibles, pero al mezclarlos se obliga a que las gotas de aceite se hagan más grandes. Las gotitas de aceite "socializan" con señales químicas. Con información hereditaria se completaría el proceso. Reacciones químicas en un sustrato burbujeante originaron la vida. Se han vuelto cada vez más complejas. Pero, se intenta encontrar una vía a partir de componentes elementales que se piensa que pudieran dar la clave de la explicación.

Pero, si la capacidad de autoreplicación es central en la explicación de la vida, no lo es menos la memoria y la capa-



ciudad de aprendizaje. Investigadores de la Escuela Politécnica de Lausana han descubierto un material que puede aprender como lo hace el cerebro. La base es el dióxido de vanadio, que registra el historial de estímulos externos que le han acaecido. El dióxido de vanadio se usa en electrónica. Por el momento, es el único material que soporta esta propiedad de memorizar. Las transiciones de fase en el dióxido de vanadio son la clave. Una de ellas es aislante, cuando está relajado a temperatura ambiente. Sufre una transición de aislante a metal a 68°C, en que cambia la estructura reticular. La memoria que se le atribuye se denomina volátil, por cuanto al suprimir la excitación vuelve de nuevo al estado aislante. Pero el trabajo desarrollado en la institución referida, permitió observar un efecto memoria en la estructura del material. La corriente eléctrica circulaba a través del material recorriendo un itinerario dado hasta que salía. A medida que la muestra se calentaba, el dióxido de vanadio iba cambiando de estado. Y cuando la corriente ya había salido, el material volvía al estado inicial. El descubrimiento consistió en que, además de este comportamiento, cuando se inyectaba un segundo pulso al material, se observó que el tiempo que tardaba en cambiar de estado dependía de la historia del material. Todo indicaba que "recordaba" la primera transición de fase y anticipaba la siguiente. Es una propiedad que no tiene nada que ver con los estados electrónicos implicados, sino con la estructura física del material. Los Investigadores de la Escuela Politécnica de Lausana llegaron a determinar que la capacidad de recuerdo del estímulo externo llega a alcanzar hasta las tres horas. Es posible que con detectores de mayor sensibilidad se llegue a observar una permanencia de mayor duración.

La memoria en el equipamiento electrónico es imprescindible y, en este caso, se trata de una capacidad innata en el propio material. Capacidad, velocidad y miniaturización han sido los leiv motiv de los avances en electrónica. Todo parece indicar que el dióxido de vanadio cumple con los tres requi-

sitos. El hecho de que sea una propiedad continua y estructural lo pone en ventaja sobre los materiales convencionales dedicados al almacenamiento de datos, donde lo que se manejan son los estados electrónicos de los materiales empleados.

El hecho novedoso consiste en que esta forma de actuar implica unos interruptores muy similares a los que actúan, aparentemente, en el cerebro humano, donde las neuronas ejercen de cambiadores de estado y mantenimiento del recuerdo, como de sobra es conocido. Es reconfortante la identificación de procesos que responden a patrones de comportamiento que forman parte de procesos fundamentales. La memoria juega un papel extraordinariamente imprescindible en los humanos. Por razones fáciles de comprender, el avance en los procesos cerebrales, a nivel molecular, que es lo que interesa en mayor grado, son muy lentos, pero alguna idea tenemos, obtenida de forma indirecta. Las evidencias observacionales nos hacen conocer algunos aspectos que, ahora, reconocemos en materiales inertes. El avance del conocimiento nos enfrenta casi de forma constante con aspectos ignorados, poco conocidos y, la mayor parte de las veces, desconocidos, lo que nos ha hecho instaurar creencias, en realidad poco fundamentadas. Estos avances del conocimiento nos alerten de que aquí queda mucho por conocer. Y eso no se logra con grandes pronunciamientos elocuentes, sino con trabajo. La poca humildad, de muchos investigadores, nos lleva a escenas en las que se publicita cualquier cosa, mientras que las brillantes ideas que empujan con fuerza y hacen avanzar sensiblemente, emergen con sencillez, en trabajos que, desde la humildad nos hacen progresar. Brillante descubrimiento que dará que hablar y sobre todo dará para hacer en los próximos tiempos.

T R A Z O 1 . 2

CERCA... LEJOS

Hace muchos años, en Barrio Sésamo, Archibaldo jugaba a cerca...lejos. Una forma muy visual de aprender conceptos. Cerca, es un adverbio que se refiere a un lugar o tiempo próximo a otro que se toma como referencia. Por el contrario, el adverbio lejos, se refiere a un lugar o tiempo muy distante de otro tomado como referencia. Cuentos, canciones, juegos han articulado respuestas. También la Ciencia. Conforme hemos avanzado tecnológicamente, hemos multiplicado nuestra capacidad para acercar lo lejano, mediante prótesis, cuando se trata de espacio y la Historia y el recuerdo han venido haciendo lo propio con el tiempo y la Ciencia.

La capacidad de medida de tamaños, ha sido decisiva en el avance científico. Tener acceso al tamaño molecular, ha posibilitado estudiar el mundo microscópico en el que los átomos se desenvuelven y generan las propiedades que percibimos a nivel macroscópico. Disponer de relojes sumamente precisos capaces de medir tiempos muy diminutos, ha posibilitado poder observar los procesos moleculares en directo, no en diferido, como viene siendo habitual desde que la Ciencia se puso en marcha. Láseres de femtosegundo permiten acceder a los tiempos moleculares y láseres de attosegundo permiten el acceso en directo a nivel atómico. También, gracias al láser, dada su direccionalidad y coherencia, lo que le confiere una mínima dispersión, se ha profundizado en distancia y precisión, como nunca antes se había logrado.

Nos hemos familiarizado con la velocidad de la luz. La referimos con harta frecuencia, aunque sin ser muy conscientes de lo que conlleva. Si nos ponemos en marcha a una velocidad próxima a la de la luz, por aquello de no vulnerar postulados bien establecidos, en un solo día transcurrirían ante nosotros en torno a 1000 años de existencia. Es que esa tal velo-

cidad implica que la distancia de la Terra a la Luna se completa en un segundo y medio. A estas velocidades los conceptos de cerca...lejos tienen otra entidad, por cuanto la rapidez de cambio en la clasificación de uno a otro, son casi instantáneas.

El concepto lejos parece ser más atractivo, quizás por la pequeñez nuestra que evidencia. A nivel astronómico, todo parece indicar que nuestra Galaxia podría tener muchos planetas similares al nuestro. Hasta ahora se han confirmado unos 4.000 y solamente un tercio de ellos son rocosos. Hace poco se ha descubierto un exoplaneta, OGLE-2018-BLG-0677b, situado a esa distancia apropiada para recibir la cantidad de calor que se requiere para que pueda existir agua líquida, que son los requisitos más exigentes para la posibilidad de que haya vida. En lo que respecta a nuestro hilo argumental, está situado a 24.722,65 años luz, lo que implica que es uno de los más lejanos visualizado. Para valorar la distancia a la que se encuentra, recordemos que en un día a esa velocidad pasarían ante nosotros 1000 años de existencia en la Tierra. Una detección como ésta requiere avances tecnológicos de importancia, capaces de detectar variaciones en la luz de la estrella mínimas, al verse modificada al pasar el planeta por delante de aquélla. Más todavía, si el método aplicado es el denominado de bamboleo, en el que se trata de detectar movimientos mínimos, derivados de la gravedad de los exoplanetas en las estrellas que los mantienen. La tecnología hoy, permite utilizar un método similar al que empleó Eddington, en 1929, cuando viajó a la isla del Príncipe, en África, para observar el eclipse solar y testificó, como anticipaba la Teoría de la Relatividad, que las estrellas cercanas al Sol deberían estar un poco desplazadas, porque la luz resulta curvada por el campo gravitatorio solar. El brillo del Sol impide que se pueda observar, salvo en un eclipse. Confirmó la Teoría de Einstein, que dicen que comentó en aquel momento que habían tres personas que comprendían la Teoría de la Relatividad y Eddington, con esa sorna británica tan característica, replicó ¿y quién es la tercera? La técnica, hoy, consiste en que, si hay

dos estrellas en línea y el observador está en la misma línea, pero alejado, la luz de la estrella que está situada detrás, cuando pase cerca de la estrella situada delante, se curvará, debido a la acción de la gravedad de la segunda. Esto, traerá como consecuencia una distorsión y una magnificación de la luz de la primera fuente, al modo en que actuara una lupa, por lo que se le denomina lente gravitacional. Teniendo en cuenta que se estima un número de estrellas en el Universo de 1024 y en nuestra Vía Láctea se estiman entre 200 y 400 mil millones y en algunos cálculos podría alcanzar el billón, con lo que si, además, agregamos los exoplanetas con las perturbaciones que incluirán, disponemos de un procedimiento sofisticado que detecta la presencia de planetas a los que determinar su masa, tamaño, composición etc. El OGLE-2018-BLG-0677b, se ha determinado de esa forma. Una masa de 3,96 la de la Tierra, con una estrella en torno a 0,12 veces nuestro Sol, de la que está separado unas 0,70 unidades astronómicas (similar a la separación entre Venus y nuestro Sol) y emplea 617 días en girar en órbita alrededor de aquél. Por el momento, nada respecto a si es habitable, entre otras cosas por no haber podido determinar con la tecnología actual, la temperatura y la actividad que pudiera haber. Este es el exoplaneta descubierto más lejano en nuestra Galaxia, a unos 25.000 años luz.

La cuestión de cuál es el objeto estelar más lejano en términos absolutos, también hay que actualizar los datos, pues recientemente un equipo internacional de astrónomos ha descubierto la galaxia, rotulada como HDI situada a 13.500 millones de años luz Existía poco después del Big Bang. El Telescopio espacial Webb ha sido la herramienta que lo ha hecho posible.

Gracias al descomunal tamaño del Universo, es posible que radiación que se emitió hace 13.500 millones de años esté llegando ahora a nosotros. Hasta ahora la galaxia líder era la rotulada GN-z11 descubierta por el Telescopio Espacial

Hubble, situada a 13.400 millones de años luz. La nueva, HDI, se discriminó entre 700.000 objetos detectados por los telescopios Subaru VISTA, el infrarrojo del Reino Unido y el espacial Spitzer, así como el conjunto milimétrico y submilimétrico ALMA, implantado en el desierto de Atacama. Hay una cuestión residual del grado de significación estadística de las mediciones, que se exige estar situado al 99,999% y solo se alcanza, por el momento un 99,99%.

Lo lejos que se sitúan estas observaciones está tan cerca como a 300 millones de años tras el Big Bang. Los modelos de formación de las Galaxias están al límite de sus posibilidades. Falta por conocer detalles que perfilen el descubrimiento como si se trata de una Galaxia formadora de estrellas o un agujero negro. De momento es la mejor candidata a ser la Galaxia más distante jamás registrada.

De cerca ¡que grandes somos! De lejos, ¡que minúsculos! Pero, como Humanidad, ¡qué cosas tan grandes protagonizamos! ¡qué lejanas resultan las Galaxias y los planetas que se investigan! Lo lejano se torna cercano. Es lo que tienen las cosas definidas de forma relativa. Ya lo enseñaba Archival a los pequeños. ¡Que bendición seguir siendo pequeños!



T R A Z O 1 . 3

COMUNICACIÓN Y COMPRESIÓN

Shannon formuló en 1948, año de auténtica reserva, lo que se dio en denominar, "teoría de la información" que proporcionó un marco matemático riguroso para cuantificar la cantidad de información necesaria para enviar y recibir un mensaje. Su concreción consistió en determinar el grado de imprecisión asociado al mensaje emitido.

Veamos con un ejemplo la precisión de la idea. Disponemos de una moneda que tiene dos caras iguales y la lanzamos al aire un par de veces, ¿cuánta información nos comunica el lanzamiento? La respuesta solo puede ser una: nada, ya que antes del lanzamiento ya tenemos la seguridad de conocer el resultado con certeza, dado que solo tiene dos caras iguales. En cambio, si lanzamos un par de veces una moneda normal, con su cara y su cruz reglamentarias, el resultado ya no está previsto. Si utilizamos números binarios para codificar los resultados, adoptando 0 para cara y 1 para cruz, encontramos que hay cuatro resultados posibles: 00, 11, 01 y 10. Reparemos que cada resultado ha requerido dos dígitos binarios para poder representarlo. En el primer escenario, teníamos certidumbre del resultado, por tanto, en el contenido del mensaje. En el segundo escenario, por el contrario, la probabilidad es de 1 en 4 (25%) de acertar la respuesta correcta y, no solo eso, sino que ahora precisamos dos bits para expresar el resultado sin ambigüedad. Podemos generalizar la situación diciendo que, cuando menos sepamos de un mensaje, más información se requiere para expresarlo. Shannon hizo esto, expresar matemáticamente de forma precisa el mínimo número de bits que requiere la comunicación de un mensaje. A este umbral se le denominó entropía de Shannon. Implícitamente conlleva, algo que también demostró Shannon, que es que, si el emisor del mensaje utiliza unos bits menos que el mínimo, el mensaje inevitablemente resultará distorsionado. En el mundo de la educación, no reparamos, con frecuencia en los mecanismos de trasiego de la información. El marco que estableció Shannon partía de un hecho cotidiano, muy frecuentemente saboreado en las aulas, cual es que la información se maximiza cuando algo nos sorprende. Eso es, justamente, lo que debiera acontecer

en cada instante en las aulas, concretando que el aprendizaje es un itinerario de máximos de información.

La conexión del concepto introducido por Shannon con la entropía es inmediata. Como es bien sabido el vapor de agua tiene una entropía mayor que el agua sólida que forma el hielo, que es una estructura cristalina, rígida, mientras que el vapor de agua tiene muchas formas de disponer las moléculas que lo constituyen. El estado cristalino es más ordenado que el gas, y el líquido, claro. Análogamente, un mensaje construido al azar tendrá una entropía de Shannon elevada, dado que hay muchas opciones para disponer la información, y no hay más que compararla con el patrón que tenga la menor entropía. Esta analogía se plasma en la forma de calcularla, que al igual que en el ámbito de la Física en que la entropía es una función logarítmica de los posibles estados y en el ámbito de la teoría de la información la función logarítmica se aplica a los posibles resultados del evento. Forma elegante, simplicidad exuberante, que lleva a que la entropía es como el número de preguntas necesarias para responder con un sí o un no, que por término medio permiten confirmar un mensaje. Cuantas menos preguntas haya que responder sobre el contenido del mensaje, más incertidumbre habrá para determinar la respuesta.

Si lo pensamos bien, la formulación de las preguntas es clave. Por ejemplo, si imaginamos que el universo está constituido por las letras del alfabeto español, 27 letras y pretendemos adivinar la primera letra de una palabra desconocida, podemos hacerlo generando una letra al azar, lo que nos llevaría a un número determinado de preguntas para localizar cual es. Podemos, alternatively seguir alguna estrategia más refinada, como es la búsqueda dicotómica, muy útil cuando los elementos están ordenados, pues disminuye exponencialmente el número de iteraciones necesarias, que es $\log_2 n + 1$. En nuestro caso, con 27 elementos, sería 5,75, pero si se tratara de 50.000.000 de elementos, bastaría con 26,575 comparaciones. ¡Espectacular! Podemos escoger la estrategia de analizar las opciones que nos da la frecuencia de aparición de una letra tras una dada, que en cada lengua tendrá una frecuencia determinada. En suma, las estrategias diferentes nos llevarán a unos patrones que reducen la incertidumbre y permitirán usar cantidades de información pequeñas para comunicar. Shannon sosla-

yó esta dificultad apelando al número mínimo absoluto de bits, o preguntas de respuesta sí o no, necesarias para expresar un mensaje. Es un principio fundamental que establece el grado en que podemos comprimir un mensaje sin que sufra deterioro.

Una aplicación de la propuesta de Shannon se plasma en las tecnologías de compresión de información, tan usual en nuestros tiempos, en especial en el trasiego de imágenes. De forma similar a lo comentado con las letras del alfabeto, ocurre con los colores, que responden a patrones estadísticos. Se han formulado modelos probabilísticos de patrones de color para deducir el color de un pixel en función de los anteriores o próximos. La técnica consiste en asignar ponderaciones a los patrones (debidamente calculadas) y tomar el logaritmo del peso para todas las formas de ordenación posibles en las que aparecen. Este valor establecerá el límite de compresión máximo, que será el valor de compresión que se puede lograr antes de iniciarse la pérdida de información de su contenido. Los algoritmos se comparan con este límite. En función de lo cercano que esté el resultado con ese límite se estará al límite de lo posible a conseguir.

Cuanto menor estructura tenga un mensaje, mayor cantidad de información se requiere. El elemento de comparación es la medida de la entropía de Shannon. La calidad de una comunicación es establece en función de ella. La ignorancia cabalga sobre todo ello.

pensándolo bien...





CEREBRO CUÁNTICO.

Se está introduciendo un perfil, que se denomina cerebro cuántico, refiriéndose a un ordenador que funciona con capacidad para aprender, aparentemente imitando a los humanos. Nuestro cerebro cambia, como rasgo fundamental del aprendizaje y la experiencia acumulada. La pretensión de la técnica es imitar ese proceso y lograr que los ordenadores se comporten de forma autónoma, siguiendo esa pauta. Pero no nos referimos a este perfil, que no deja de ser importante, claro está y tiene su propio itinerario. Nos ha parecido necesario puntualizar desde el primer momento que la orientación de este texto es bien otra. Nos ocupamos del cerebro genuino, el único hasta ahora conocido, aunque es un decir el término que acabamos de emplear, porque probablemente es la incógnita mayor que se cierne sobre la Ciencia que, desde siempre, ha pretendido desentrañar su intimidad, que se sigue resistiendo a desvelar los secretos que guarda.

Ya hace tiempo que se propuso la existencia de efectos cuánticos en proteínas del cerebro. Se denominan microtúbulos y juegan un papel central en la naturaleza de la conciencia. Penrose dedicó mucha atención a ellos, concluyendo de forma lapidaria que "El reto de la física es explicar cómo funciona la conciencia". Durante mucho tiempo, las teorías que sustentan el comportamiento cuántico en los sistemas biológicos, han sido puestas en entredicho, aduciendo que era muy improbable que acontecieran procesos regidos por la cuántica en sistemas que tienen una temperatura como la ambiental, lejos de las bajas temperaturas que parecía que requerían los sistemas para que pudieran apreciarse los efectos cuánticos. Lo que la temperatura suscita es que la superposición de estados en las que se mantienen los sistemas cuánticos, en los que la propiedad esencial es la coherencia, no podía cumplirse y los sistemas estaban sujetos, en estas condiciones, a la decoherencia. De esta forma, se excluía la opción, durante mucho tiempo, de que los sistemas biológicos pudieran exhibir comportamientos cuánticos.

La decoherencia explica como un estado cuántico entrelazado, es decir descrito por una combinación lineal de estados cuánticos, pero no identificándose con ninguno de ellos, puede desencadenar un estado descrito por la Física clásica, por tanto, no entrelazado, sino un estado individual. De esta forma, deja de exhibir características cuánticas y pasa a tener un comportamiento clásico, ajeno a los efectos que caracterizan a la mecánica cuántica, que son contraintuitivos, por ser ajenos a la evidencia empírica vital de los humanos. La razón técnica de esta denominación radica en que, matemáticamente, las combinaciones lineales que representan al estado entrelazado, pierden la coherencia de la fase compleja. El hecho es muy central en la Física contemporánea, dado que, esta pérdida de coherencia en ciertas condiciones, es la que explica por qué la Física Clásica es una buena aproximación-descripción del mundo macroscópico en que nos desenvolvemos con mayor comodidad. Si recordamos al gato más famoso conocido, el de Schrodinger, las interacciones del gato con el entorno son las que producen la decoherencia y provocan que la combinación lineal de gato vivo y gato muerto vaya a parar a un estado clásico, abandonando la superposición de estados en un tiempo tan pequeño que se hace imperceptible. En un tiempo en torno a 10^{-65} s, se rompe la superposición y pasa a tener un comportamiento muy diferente al que tendría en aquella condición. Básicamente, la temperatura o un proceso de medida suponen una reducción de la incertidumbre en el estado de un sistema, compensada por un aumento de incertidumbre del entorno (Universo). Así, se interpreta la medida como un proceso irreversible que modifica la entropía del sistema y el entorno del mismo.

En las décadas anteriores, se postulaba que los sistemas biológicos estaban sometidos a decoherencia. Pero estudios, investigaciones y descubrimientos recientes han ido acumulando experiencia en otra dirección. Los efectos cuánticos se han identificado en los sistemas fotosintéticos, fundamentales en el proceso de la vida. Se han propuesto intervención de procesos cuánticos en sistemas tan diferentes como la migración aviar o la olfacción. También se ha incorporado a estos escenarios el mecanismo de los microtúbulos de la conciencia cuántica que postula la cognición cuántica.

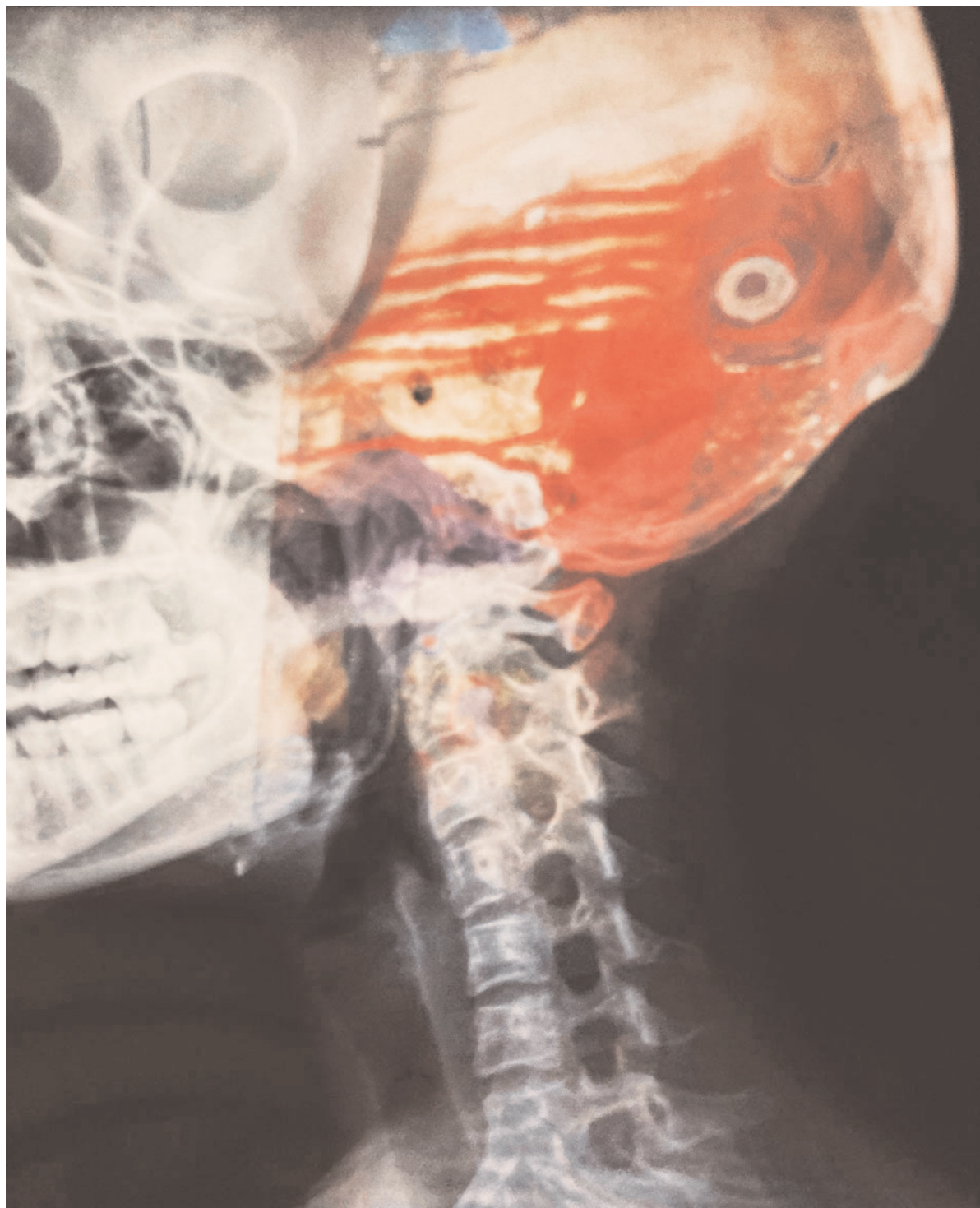
Una de las aportaciones del comportamiento cuántico del cerebro

se centra en la interpretación de la anestesia general que conecta y desconecta la conciencia. Se postula que ocurre mediante procesos cuánticos, y se concreta a través de las medidas del espín electrónico. Se ha propuesto una hipótesis que implica el efecto túnel, en el contexto del mecanismo de la olfacción como explicación plausible de la acción de los neurotransmisores. Recientemente, se propone un mecanismo acerca de cómo el entrelazamiento cuántico entre núcleos de fósforo podría ser el que provoca el disparo de las neuronas.

Lo señalado y otras teorías, contribuyen a generar un campo de investigación sobre los mecanismos mediante los que los efectos cuánticos podrían contribuir a los procesos neuronales. La evidencia experimental, cada vez más, supone una evidencia de las predicciones de la teoría. El avance simultáneo en campos tan diversos como el mundo vegetal y el cerebro humano, va clarificando, poco a poco, que los materiales biológicos pueden sustentar efectos cuánticos, que pueden ser relevantes a la hora de dilucidar aspectos fundamentales del funcionamiento del cerebro.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 5

TRABAJANDO SOBRE FEMTOSEGUNDOS.

El significado del tiempo es múltiple. Además de cuestionado en su existencia, que para el ciudadano de a pie, presionado por el reloj, le puede parecer una broma, lo cierto y verdad es que el tiempo es objeto de interrogante por los humanos desde hace, al menos, dos mil quinientos años. La respuesta nunca ha estado clara. Ahora que los científicos encaran con intensidad la teoría del todo, en un intento por compaginar los mundos microscópico y macroscópico, el tiempo no aparece en las ecuaciones, lo que contribuye de forma explícita a cuestionar si no se trata de una conjetura con la que intentamos explicar algo que no comprendemos. Las alternativas interpretativas del tiempo se han dado en todo tiempo y lugar. Heráclito de Éfeso, en torno al 500 a.C. proponía un "todo fluye", que patentizaba de forma expresa el paso del tiempo, certificado por el propio Platón. Al tiempo, Parménides de Elea, proponía lo contrario, que todo permanece y nada cambia. Newton compartía la visión de que el Universo es un inmenso reloj, marcando el paso del tiempo en términos absolutos, cuya existencia era independiente de todo lo demás. Boltzmann, proponía en el siglo XIX que existían dos direcciones del tiempo indistinguibles, a imagen del espacio con arriba y abajo. Nada absoluto para Boltzmann, ni dirección objetiva y somos nosotros los que a través de nuestra percepción establecemos la dirección del mismo. Einstein, revolucionó el escenario, al incluirlo en sus ecuaciones como una dimensión más y con ello explicaba la gravedad, desde una concepción elástica, dependiente de la posición y de la velocidad del observador. Una ilusión resultaba ser el tiempo, como el propio Einstein indicó en un pésame a la familia de un amigo, al explicitar que el tiempo para los físicos es una ilusión. La Cuántica, introdujo una ponderación adicional al distinguir entre las cosas grandes y las pequeñas. Para las primeras, Eddington, que comprobó la curvatura de la luz en un eclipse, atribuyó una flecha del tiempo al mundo macroscópico, con carácter termodinámico, en la que coinciden en la misma dirección, entropía y avance del tiempo. La reversibilidad microscópica reinante en el mundo microscópico, se desentiende del tiempo y no tiene una dirección privilegiada para el tiempo. La

cuestión que suscita es que no conocemos las "partículas de tiempo". Curiosamente, la conexión cuántica-clásica, no desvela la emergencia del tiempo macroscópico a partir de unidades microscópicas. Se hace necesario unificar la teoría que describa lo grande y lo pequeño, aunque en algunas de las versiones formuladas no aparece el tiempo, como la gravedad cuántica de bucles, que compite con la teoría de cuerdas.

En otro ámbito microscópico, como el de los iones que penetran a través de una capa de material, muchos electrones resultan afectados por la distribución de los electrones restantes del material. Son procesos rápidos, lo que complica su observación, pero hoy se ha llegado a su detección minuciosa. En los procesos de fusión nuclear, los iones de alta energía bombardean las paredes del reactor. La cuestión es que, siendo fácil estudiar el proceso a posteriori, como ocurre con toda la Química, que siempre estudia los procesos en diferido. En realidad, ha sido así, dado que no disponía de relojes capaces de funcionar en los tiempos relevantes a escala molecular. El tiempo de referencia en Química para los procesos en "directo" es el femtosegundo. Para todos los procesos implicados en los semiconductores, la relevancia es la misma.

En la Universidad Técnica de Viena se ha estudiado en la escala de femtosegundo el itinerario de las partículas individuales, penetrando materiales como grafeno o disulfuro de molibdeno. Los electrones que intervienen son centrales y han sido objeto de una medición escrupulosa. Tomaron átomos de xenón, lo despojaron de entre 20 y 40 electrones de los 54 que tienen en estado neutro y los iones resultantes, fuertemente cargados positivamente, se enfocaron a una placa de material, que en el caso del grafeno tiene un espesor de un átomo de carbono. El proceso de reacción es tan rápido que hay que recurrir a procedimientos alternativos a la observación directa. Como el ión con alta carga positiva crea un campo eléctrico, afecta a los electrones del material y se mueven hacia la zona del impacto. En algún instante, el campo es tan fuerte, que arranca los electrones y los captura antes de impactar y entrar el ion en el material. El resultado es que se pone en juego mucha energía y se transfiere en muy poco tiempo y se emiten electrones. Al mismo tiempo, acuden electrones del material a compensar los electrones que faltan al ser liberados en el proceso. Esto

supone que se forman grandes corrientes a escala atómica en tiempos muy cortos. Los electrones emitidos portan información del material del que proceden. Por balance energético, solamente emergen los electrones más rápidos y los restantes son recapturados y se reincorporan al material de nuevo. En el grafeno, los electrones son muy rápidos.

Los tiempos representativos de los procesos indicados son del orden del femtosegundo. Los iones precisan de esta escala de tiempo para penetrar en el material. La diferencia entre el procedimiento ahora propuesto y la medida mediante láseres de femtosegundo es que estos últimos depositan mucha energía en el material y alteran el proceso de forma sustancial. Por el contrario, el uso de iones cuya interacción es a través del campo eléctrico generado por iones desprovistos de gran cantidad de electrones, no alteran el proceso y se puede obtener información de procesos fundamentales relacionados con la exposición de la materia a los iones a los electrones o a la luz.

El femtosegundo es la referencia característica de la Química. Los enlaces se crean y destruyen en esta escala de tiempo y los electrones e iones implicados recorren las curvas de potencial de los distintos estados electrónicos implicados en los procesos químicos. No en vano, Ahmed Zewail, brillante premio Nobel en 1999, inauguró la rama conocida como Femtoquímica. Es la opción de asistir al discurso de los procesos moleculares en directo y no en diferido.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 6

PARTÍCULAS ENTRELAZADAS.

Los Premios Nobel de Física 2022 se han otorgado a científicos que han abordado el contraintuitivo tema de las partículas entrelazadas. Alan Aspect, John Clauser y Anton Zeillinger han experimentado y abordado en profundidad la naturaleza íntima de la realidad. Se han enfrentado a la cuestión intrigante de las partículas entrelazadas que supone que dos partículas separadas entre sí, comparten información pese a no haber ninguna comunicación entre ellas.

Dos partículas están entrelazadas cuando forman un sistema, independientemente de la distancia que las separe. Un ejemplo aclarará el controvertido concepto. Los electrones tienen una propiedad cuántica denominada espín. Cuando se mide puede tomar dos valores referidos como arriba y abajo. Medir el espín de un electrón es similar a lanzar una moneda al aire, caerá al azar como cara o como cruz. Imaginemos que dos personas reciben una serie de monedas por correo. Conforme las van recibiendo las lanzan al aire al mismo tiempo. Uno de ellos podría obtener la secuencia cara, cruz, cruz, cara, cruz. El otro podría obtener cara, cara, cruz, cruz, cruz. Las monedas de uno y otro no tienen nada que ver. Pero si las monedas estuvieran entrelazadas, como ocurre con los electrones citados, por cada cara de uno de los electrones (espín arriba), la otra persona encontrará el electrón con espín hacia abajo, lo contrario del otro. Las dos medidas están conectadas, no son independientes, como si el lanzar al aire una moneda, le comunicará a la otra, por distante que estuviera, cuál era la medida suya y le condicionara la medida de la otra. Además, esto supone una transmisión de información de forma instantánea, en el momento de la medida.

La cuestión del entrelazamiento se destapó en la década de los 30 del siglo pasado a raíz del debate suscitado entre Einstein y Bohr y Schrödinger, a cuenta de la interpretación de las leyes que operan en el Universo, contrastando las interpretaciones clásicas (Newton) y versión actualizada (Teoría de la Relatividad de

Einstein), por un lado y la Cuántica sostenida por Bohr y Schrödinger, por otro. Por su parte, Einstein pensaba que todos los aspectos de la realidad deberían tener una existencia concreta y totalmente cognoscible. Todos los objetos, desde la Tierra hasta el fotón de luz tenían propiedades muy definidas que podían resultar medidas. Es conocido el trabajo referido como EPR, de Einstein, Rosen y Podolsky, que en 1935 describieron el entrelazamiento cuántico, con lo que se pensaba que la Cuántica tenía declarada su defunción al no poder concebir una transferencia de información a velocidad superior a la de la luz. Einstein sugirió que la explicación radicaba en variables ocultas que justificaran la relación, una especie de conexión ilusoria entre las partículas. Por su parte Bohr, Schrödinger y los del grupo de científicos que defendía la descripción cuántica, proponían que la realidad se muestra fundamentalmente incierta, de forma que una partícula no poseía ninguna propiedad hasta que no se efectuaba una medida.

Es el entrelazamiento el que permite distinguir entre estas dos opciones de interpretar la realidad. El físico John Bell propuso un experimento mental para delimitarlo y ha sido ampliamente utilizado por Aspect y Clauser, concluyendo que Schrödinger tenía la razón y que la Mecánica Cuántica es el sistema operativo del Universo. En 1964 John Bell propuso un experimento encaminado a dilucidar el debate. La idea era que la medida de los espines de las partículas entrelazadas, si Einstein estaba en lo cierto y las partículas tienen los espines relacionados, al actuar cambiando sus ejes, la medida no tendría efecto en el resultado. La idea de Bell la extendió al Universo afirmando que, si fuera mecanocuántico, y el entrelazamiento fuera un mecanismo por el que se espían las partículas, el cambio del eje de rotación (del espín) daría medidas más correlacionadas que las que sería posible en las teorías clásicas como la relatividad. En el fondo, trasladaba un debate filosófico al ámbito científico.

Naturalmente, estas opciones de interpretación llevan aparejadas implicaciones filosóficas, además de las puramente tecnológicas, como las desarrolladas por Zeilinger que emplea el entrelazamiento para llevar a cabo tareas de redes, teleportación y criptografía cuánticas. El tratamiento cuántico de la información es un campo en pleno desarrollo con potenciales aplicaciones como la

transferencia segura de la información, la computación cuántica y la tecnología de la percepción.

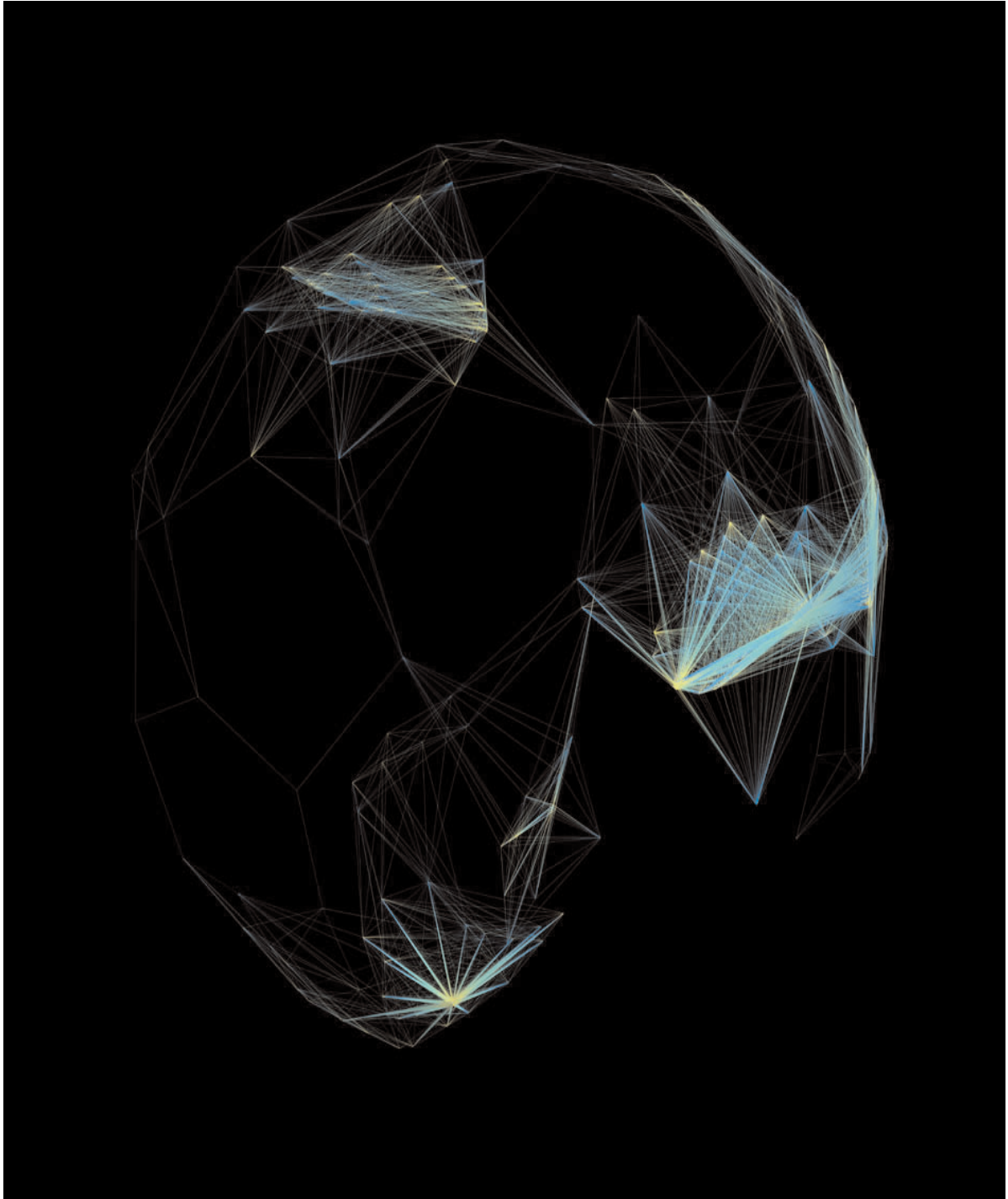
Clauser ha llevado a cabo experimentos en Berkeley, especialmente, con fotones polarizados, ya que la polarización de la luz implica tomar dos valores relativos a la orientación que adquiere al pasar a través de un filtro. Pasó por periodos en que la tendencia a abandonar el experimento era lo que le aconsejaban notables científicos como Feynman. El trabajo de Bell le animó y la sorpresa fue que los resultados no avalaban a Einstein, sino a las predicciones de Bell. Los estados de los fotones están correlacionados, de forma que queda excluida la idea de variables ocultas.

Alan Aspect llevó a cabo el test de Bell, cuando yo cumplía un postdoc en el Laboratorio de Fotofísica Molecular en Orsay y tuve ocasión de conocer de primera mano un experimento particularmente brillante, cuando en 1982 la orientación de las lentes cambiaban al azar en mil millonésimas de segundo, que es el tiempo que los fotones tardan en recorrer el espacio entre el emisor y la lente. Así, la lente inicial no tenía influencia en el proceso. El experimento también apoyó a Bell y a la interpretación de la Mecánica Cuántica.

Todavía cabía la conjetura de que pudiera haber un proceso que determinara cómo las lentes podrían cambiar. Desde la Universidad de Viena, Zeilinger apuró esta opción y llevó a cabo un experimento en 2017 usando los colores de los fotones emitidos desde estrellas distantes cientos de años luz, para concretar el experimento. Si hubiera alguna conspiración cósmica que crearía la ilusión del entrelazamiento, habría comenzado cientos de años antes de realizar los experimentos. Corroboró los resultados obtenidos por los anteriormente citados.

No faltan los científicos que siguen manteniendo la conjetura de Einstein, para los que propiedades como la polarización o el espín, quedaron fijados en el Big Bang, por tanto, mucho antes de cualquier experimento llevado a cabo en tiempo reciente. No obstante, para muchos otros y, en especial, para los brillantemente reconocidos con el Nobel de este año, las dos partículas entrelazadas forman un solo sistema y las propiedades como el espín o la

polarización están indefinidas hasta que se efectúa la medida. Esto supone que la realidad no está predeterminada hasta que no se mide. Inquietante resultado, sin duda. Esto empieza ahora. Brillantes premio Nobel.



T R A Z O 1 . 7

BILLAR CÓSMICO

Cuesta mucho adoptar la imagen cuántica del mundo. Cuesta poco que esa imagen sea la clásica, donde Newton reina. Es una impronta cultural, forjada a lo largo de mucho tiempo, varios siglos ya, en la que el Universo, cual billar, consta de esferas que se mueven, se condicionan en sus trayectorias y colisionan según las leyes de la dinámica, de forma inelástica, pero aproximadamente como si se tratara de choques elásticos. Como si fuera el juego de billar, pero con bolas planetarias, asteroides, en general, cuerpos celestes.

La experiencia de las consecuencias catastróficas de la colisión de un asteroide con la Tierra, se conocen, porque está en el frontispicio de la explicación de la desaparición de los dinosaurios, por ejemplo. Un impacto de un asteroide pequeño, puede destruir una ciudad y si tiene un tamaño, respetable, puede acabar con la vida en nuestro planeta. Los asteroides son una auténtica amenaza, aunque no haya motivo de preocupación en la actualidad, pero el riesgo de impacto con la Tierra, es predecible y de lo que se trata es de hacer algo para evitarlo.

La misión de la NASA, DART (Prueba de Redirección de Asteroides Dobles), ha consistido en una prueba práctica de la tecnología disponible para defendernos de asteroides o cometas. En este caso concreto, se hace colisionar una nave espacial que navegó en forma automática hacia un asteroide y pretendía que el resultado de la colisión cambiara el movimiento del asteroide y que ese cambio inducido fuera cuantificable y comprobable. Se programó el impacto con un sistema doble Didymos-Didymoon. Un asteroide pequeño, Didymoon, (un diámetro de unos 163 m) orbitaba en torno a una mayor Didymos, empleando 11 horas y 55 minutos en este menester. La colisión tuvo lugar el 26 de septiembre y desde la tierra con telescopios, se ha estado controlando cuanto ha cambiado el tiempo de giro referido. Se ha precisado que han sido 32 minutos lo que se ha acortado el tiempo orbital con una incertidumbre en torno a dos minutos. La conclusión es que hemos sido capaces de

cambiar de forma cuantificable la órbita de un cuerpo celeste. Una futura amenaza podrá tener contestación.

Los eventos de colisión de un asteroide con la Tierra, que en otro tiempo geológico fueron frecuentes, ahora no lo son. No siempre fueron catastróficas las consecuencias. Por ejemplo, el impacto con la Tierra de un asteroide hace 2.200 millones de años, en Australia Occidental, cuando la Tierra tenía la mitad de la edad que tiene ahora, explica como nuestro planeta superó la primera edad del Hielo. Fue un calentamiento global que, en aquel entonces, posibilitó la vida en la Tierra. Se ha concluido en esta aportación a partir del examen de restos minerales encontrados en el cráter de Yarrabubba, en Australia. Desde la misma formación de la Tierra han estado impactando cuerpos celestes. La atmósfera, fiel guardián del Planeta, acaba con la mayor parte de ellos, pero algunos escapan a este vigía sutil y vital y llegan a la superficie. La NASA escudriña con radares los asteroides potencialmente peligrosos y concreta en 19 de ellos como media anual.

El tamaño es importante, pero no lo único a considerar para valorar la letalidad. La composición química del sitio en el que tiene lugar la colisión puede ser determinante. Científicos estiman que un asteroide de unos 10 kilómetros de diámetro a una velocidad de 40 km s⁻¹ libera una energía de unos 300 teratones (de TNT). La comparación con la capacidad nuclear destructiva de todo el planeta es dramática, porque la multiplica por 40.000. En una cuantía parecida se estima el impacto de hace 66 millones de años hizo desaparecer a los dinosaurios.

No se ha pretendido hacer desaparecer el asteroide, que puede resultar tarea imposible, sino generar un empuje y un cambio de velocidad, mediante pequeños dispositivos nucleares que se hacen detonar en la superficie del asteroide. El resultado es modificar la trayectoria y alejarlo de nosotros. En suma, la Humanidad ha sobrepasado el umbral tecnológico para que pudiéramos seguir el camino de los dinosaurios.

El planeta se ha movilizó en su totalidad. La agencia espacial estadounidense y la japonesa se pusieron en marcha con la misma finalidad. La ESA, la Agencia Espacial Europea y la NASA

diseñaron un proyecto conjunto denominado AIDA, que pretendió ser una demostración real de la técnica de impacto cinético para alterar la trayectoria de un asteroide en el espacio. El 11 de octubre se confirmó públicamente que el asteroide Dimorphos se había desviado hasta 50 veces más de lo que se había establecido como referente. Todo un éxito. Esto si es una guerra de las Galaxias. Faltan confirmar otros elementos significativos como la alteración que haya podido darse en la estructura interna del asteroide, como consecuencia del impacto, y otros aspectos como la expulsión de material derivado de la colisión. Es una preocupación de algunos, saber cuáles son las consecuencias. Hay que esperar, porque este tipo de cosas no se pueden recrear en un laboratorio. Didymoon se acercará a la Tierra en 2042 y 2062. Habrá tiempo para estudiar minuciosamente las consecuencias.

Los asteroides son una verdadera amenaza que hay que tener en cuenta, porque aunque a corto plazo no tengamos por qué preocuparnos, son el único riesgo real a gran escala (es un decir, porque estamos con el alma en vilo por otros riesgos derivados de la estulticia humana) que podemos predecir y contra el que podemos hacer algo. Como siempre, ahora nos enfrentamos con la necesidad de colaboración de todas las naciones, porque esta cuestión no es de ningún país en particular, sino que la protección contra la potencial extinción nos atañe a todos. En otros casos, eludiendo la responsabilidad que esto entraña, solamente ha aflorado la estupidez como rasgo sobresaliente. Esperemos que no se repita. No es cosa de película, sino de la realidad palpable, que debemos estar preparados para defender la Tierra.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 8

EL TIEMPO SE ENCOGE.

Ciertamente, no percibimos la importancia de las cosas, mientras que no nos faltan. Pensándolo bien, todos tenemos algún ejemplo concreto de este hecho. Cuando nos duele o tenemos dificultades con el pie, reparamos en que nada menos que 19 músculos están implicados en sus movimientos o cuando tenemos dificultades con la cara, reparamos en que los músculos de la cara, también llamados músculos de la expresión facial, incluyen, en torno a 20 músculos planos que se ubican bajo la cara y el cuero cabelludo. Afortunadamente, no sentimos su existencia, como decíamos, hasta que alguna dificultad nos alerta de su presencia y papel.

Con la disposición de la tecnología ocurre algo parecido. Cada vez con menor intensidad, pero no se ha erradicado todavía, es bien visible que, en las reuniones de colectivos, los enchufes murales se ven concurridos por decenas de cables y teléfonos abandonados a la suerte de la recarga para aquellos que no siendo precavidos, se han visto sorprendidos al quedarse sin comunicación por agotamiento. Para aquellos que esperan recuperar los favores de su teléfono, la recarga se convierte en el gran problema a resolver por la tecnología que, dicho sea de paso, está haciéndose de rogar más de lo que debiera. Las soluciones híbridas, solo nos evidencian la falta de capacidad para resolver un problema crucial, como es el del almacenamiento de la energía eléctrica. De faltar la energía eléctrica a escala local, en un ámbito de una ciudad o parte de ella, repararíamos que no disponemos de capacidad tecnológica para tales menesteres y repararíamos en la obsesión por mantenernos enchufados.

Podemos imaginar crisis de gran envergadura, cuando falten elementos que hoy son usuales y que podemos enmarcar en ese concepto amplio que denominamos conectividad. La concepción es amplia, digital o analógica, la vida se nutre mediante la conectividad. Los dispositivos solamente la facilitan, pero desde la provisión de alimentos, hasta el mantenimiento de nuestro hogar, requieren conectividad. La opción de autosuficiencia no se puede decir que sea una alternativa. El universo digital forma parte de nuestra identidad y merece la pena que reflexionemos sobre ello.

Lo natural y la ficción tienen mucho en común. Se pueden vivir cosas propias de ambos entornos. En el marco de la realidad virtual, podemos subir una escalera velozmente y quedarnos sin aliento. Pero, es posible que la percepción de las cosas naturales, sean más abstractas, de naturaleza más indirecta. Nuestra vida compone a lo largo de su desarrollo, una experiencia directa que conforma nuestra historia. Lo que ocurre es que está convenientemente decorada. En una novela se suceden las escenas que la construyen, una tras otra, pero la historia de nuestra vida requiere un trazado también. Se requieren meses años en los que se suceden los capítulos de nuestra vida concretada en momentos concretos. Ahora bien, lo que constituye nuestra historia no son los capítulos, sino el conjunto completo de ellos. No es una recopilación de momentos ni la felicidad de unos momentos o los sufrimientos, las victorias o los pesares, sino el por qué de ellos e incluso pese a ellos que encontramos nuestro lugar en el mundo y contribuimos a cambiarlo y esto nos cambia a nosotros mismos. Esto conlleva que nuestra historia requiere un tiempo de dos dimensiones, una de ellas concreta la duración y la otra el marco de tiempo del momento, de la experiencia directa.

La naturaleza de las experiencias directas solo puede existir en el momento. Por el contrario, una narración requiere muchos momentos y una secuencia completa para tener sentido. Pero ambas requieren una experiencia inmersiva y el fluir del tiempo. El flujo del tiempo está embebido en todo. Un grano de arena lo incluye, lo mismo que un capullo de una flor. Está sumergido en cualquier música y en nuestras emociones en forma codificada, en los olvidos y en las nostalgias, en nuestros sueños y en nuestra idea del futuro. Pero la tecnología ha alterado el flujo del tiempo. La unidad de medida del momento se ha reducido, se ha encogido. Una historia muy divertida, cuenta que, a principios del siglo XX, un richón americano propuso un premio especial (en dólares) a quien demostrara que un caballo a la carrera pudiera tener en algún instante las cuatro patas en el aire. Hubo que esperar unos treinta años, hasta que un diafragma fue capaz de obturar el objetivo de una cámara fotográfica en un tiempo suficientemente pequeño (milésima de segundo) para capturar la instantánea en que las cuatro patas estaban en el aire. Aquello permitió desarrollar el concepto de en vivo o en directo. Se desarrollaron experimentos en direc-

to y sustituir al diferido con el que nos conformamos en muchos casos, en especial en Química. Para observar la ruptura y formación de los enlaces químicos se necesita instrumental que opere en la escala del femtosegundo, que es el tiempo genuino en Química. Lo demás, ya ocurrió, es pasado.

Los instrumentos han permitido medir cada vez tiempos más pequeños y esto nos proporciona una comprensión más granular del mundo material. Esto genera montones de datos que nuestro cerebro no puede comprender y hacen necesario el tratamiento con ordenadores cada vez más potentes. A su vez, esto indica que hay un desnivel entre lo que percibimos y lo que medimos. Hoy es usual que en ámbitos científicos se opere a escala del picosegundo. Pero este es un tiempo inaccesible a una experiencia personal que podamos tener. Para las personas, el ritmo y el flujo del tiempo se concreta en el del Sol, la luna y las estaciones o ámbitos derivados. Esto nos indica que la amplitud del tiempo y su paso, para nosotros, es amplia y el presente y el futuro para percibir las cosas en las que estamos implicados, tienen que permitir separar las señales del ruido y la naturaleza de nuestras sensaciones. Los humanos requerimos la flecha del tiempo para comprender y discriminar la causa del efecto, tanto en el mundo material como en el interior de las motivaciones e intenciones. La cuestión relevante, por tanto, es ¿cuál es la incidencia de que la flecha del tiempo se altere, se deforme, se acorte?

La sensación actual para los humanos es que la flecha del tiempo apunta a cualquier parte y lo hace simultáneamente. Esta impresión se debe a que el tiempo en el mundo digital no fluye a la misma velocidad con que lo hace en el mundo físico. Todo se encoge, tanto el espacio como el tiempo. Cualquier cosa por lejana que sea, la tenemos cerca. Cualquier cosa que ocurra, por muy remoto que esté el punto en el que nos encontremos, está a nuestro alcance. La comida, el trabajo, los medios de transporte, nuestras amistades, también nuestro pasado, por cuidadosos que seamos, están presentes de forma inmediata. Podemos afirmar que pasado, presente y futuro se funden en un ahora digital.

Lo digital no solo se aleja del presente, sino que está en competición con él, porque no solamente estamos ausentes de él,

sino todos los demás también. Podemos pedir un libro en cualquier idioma a media noche o comprar cualquier cosa o dejar mensaje para después. Operamos, por tanto, con un ritmo diferente del usual y creamos la ilusión de que actuamos en tiempo real. La tecnología nos genera la ilusión de que cualquier cosa es posible. Pero, no tiene acceso todo el mundo y coexisten dos tipos de personas y el reto es vivir en los dos conceptos de tiempo que son paralelos y simultáneos y no es fácil convivir con ellos. Podemos imaginar que los jóvenes que han nacido en el seno de las sociedades tecnológicas se adaptarán a vivir más naturalmente. Es posible, pero no puede ser lo mismo aprender determinadas cosas en una aplicación a recibir la sabiduría del abuelo que nos cuenta los relatos de cuando estuvo en Roma. Cuando la visitemos rememoraremos estampas que dejaron la impronta de las sensaciones de tu antecesor y las emociones que produjeron. No se trata de romanticismo trasnochado, sino de contexto. Una cosa es la frialdad de la instrucción, en la que probablemente la automatización pueda tener ventaja, y otra muy diferente es la educación que, de momento, no hay sustituto para que sea el calor humano el que va configurando el perfil personal, al incorporar la semántica de los momentos sumergidos en una cultura que es la que enmarca nuestra existencia, natural, real. Información, conocimiento y hechos y algo más, configuran un pasado difícil de olvidar, a los que nos aferramos, aun cuando pudieran ser momentos estáticos, como burbujas que desaparecen cuando las tocamos.

Cuando almacenamos cosas no almacenamos el tiempo, no es un dato. En nuestra vida, las experiencias y el momento son una misma cosa. El presente está encapsulando al pasado y a la expectativa del futuro, como engullendo lo que ocurrió y lo que pudiera ocurrir. Estamos al completo. Son las experiencias personales que vivimos con nuestros ancestros. Aprendemos a andar con ellos, a montar en bicicleta, a sumergirnos en la cocina. Nos enseñaron que las cosas toman cada una de ellas su tiempo y ocurren, de forma natural, cuando corresponde y no se puede luchar contra el tiempo y cada tiempo requiere nuestra atención. La atención es tiempo. El mundo digital canibaliza el tiempo y al hacerlo, nos sugiere que lo que amenaza es nuestra plenitud.

Nuestra libertad, nos otorga la capacidad de elección. Repetidas veces, hemos podido comprobar como puede ser la tecnología creativa, tanto en nuestras acciones, profesionales o no, como en nuestra propia vida. Podemos escoger soluciones nuevas y hacer de los momentos un flujo de tiempo que evite la fragmentación. Podemos sintonizar con un flujo de tiempo humano y elegir como llevarlo a cabo. El humano se distingue del animal es su capacidad racional de selección, desde una conciencia construida desde el destilado de las experiencias positivas de su cultura. La tecnología oferta unas opciones que no tienen por qué alterar las bondades humanas. Un uso irracional comporta una deriva que puede ser irreversible. Podemos tener cabeza. Sería una solución excelente.

pensándolo bien...





e-BASURA

La población mundial crece irremediablemente. Lo que conlleva el crecimiento, además de ser la única forma de mantener el relativo bienestar (aunque no de todos), es un sumidero inagotable de residuos asociado a la producción de bienes y servicios que el crecimiento lleva aparejado. El control de residuos global de Naciones Unidas estableció que en 2019 se generaron en todo el mundo más de 53 millones de toneladas, lo que supone un incremento de más del 20% en solo cinco años. Para 2030 se prevén en torno a los 75 millones de toneladas. El crecimiento es de unos 2 millones de toneladas anuales, lo que supone un 3-4%. La Gran muralla china se estima que implica a 100 millones de toneladas de piedra. Claramente vamos a quitarle el liderazgo. Nuestro país genera en torno al millón de toneladas. Por si fuera poco el tercer mundo recoge, en gran medida, la contaminación que suponen estos residuos.

La acumulación de productos no usados o estropeados, que llega a estimarse en 4-5 kilogramos por habitante acumulados antes de ser desechados es una cifra muy elevada. La consecuencia es que al no reutilizar los componentes de los dispositivos no usados, hay que proceder a la extracción de materiales para fabricar nuevos productos. Esto es una cuestión de responsabilidad individual que no hemos asumido colectiva ni individualmente. Si tenemos en cuenta que por cada tonelada de residuos reciclada se evitan unas 2 toneladas de emisiones de dióxido de carbono, la llamada de atención es dramática, como se ha evidenciado este mismo mes en que se celebra el Día Internacional de los Residuos Electrónicos,

La telefonía, que ha sabido acertar en el enfoque de un servicio inigualable, porque ha identificado a la persona como objeto de atención, no importando ni donde, ni cuando, ni como se encuentre. Es una auténtica prótesis, convertida en vital. Los avances logrados son superiores a los alcanzados en cualquier otra tecnología. El ritmo al que incorporan novedades es vertiginoso y no

hay más que ver las versiones de las distintas marcas. Los "cuervos" del marketing trabajan sin descanso con la agresividad propia de otras latitudes y contribuyen a una confusión calculada en la que el deseo por la novedad supera a toda racionalidad. La obsolescencia, muchos estiman que calculada, contribuye a un desenfreno en el cambio de dispositivo para adaptarse a la moda operante. Y ¿qué hacemos con los modelos obsoletos?

Los dispositivos pequeños son tan importantes a efectos de desechos, como los grandes aparatos electrónicos. Este año la campaña ha ido dirigida, con especial intensidad, a los dispositivos pequeños, que acumulamos por tiempo indefinido. Los teléfonos inteligentes descartados este año, de apilarlos, sumarían hasta casi un octavo de la distancia de la Tierra a la Luna equivalente a la altura a la que orbita la estación espacial. En Europa se estima que se abandonan este año hasta mas de cinco millones de teléfonos, que apilados alcanzarían hasta 53.000 kilómetros, de apilarlos por la parte plana.

El valor de los componentes electrónicos de los teléfonos móviles, que incluyen oro, cobre, plata, paladio y otros materiales y ocupan un lugar privilegiado entre los pequeños dispositivos electrónicos, con el inconveniente de que en gran parte se acumulan en cajones, garajes o cualquier lugar de las casas. Una irresponsabilidad que supone despreciar las consecuencias derivadas de la incidencia de los residuos en el Medio Ambiente, tanto de forma directa, como indirecta.

Un teléfono móvil contiene ocho partes por millón de metales recuperables, en especial oro, plata y paladio. Esto supone que cada teléfono contiene unos 8 gramos por tonelada de residuos. O sea, que con unos 10.000 teléfonos móviles tenemos una tonelada de estos materiales. El 90% de los materiales de un teléfono móvil son reutilizable. El 65% son plásticos, desde poliestireno, hasta policarbonatos el 10% materiales irrecuperables, como fibra de vidrio, pero un 25% son metales, entre ellos, cobre y aluminio y las 8 ppm referidas de metales preciosos.

Las cifras en nuestro país, no dejan de ser dramáticas, ya que se cifra un ciclo de renovación de los teléfonos móviles en torno

al año u media y anualmente dejan de utilizarse unos 20 millones de unidades en nuestro país. No son cifras para que pasan desapercibidas. Siempre ha sido una incógnita la formación de la voluntad colectiva. En la esfera política se conforman mayorías que explicitan las distintas opciones. En el entorno ético las mayorías conforman el valor último que le damos a las cosas. Otra cosa es que el ritmo de evolución no necesariamente responde a las necesidades. Tanto el Medio Ambiente, como el bienestar presente y futuro requiere responsabilidad también individual, capaz de configurar una respuesta colectiva acorde a los requerimientos de la vida en común. No es cuestionable.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 1 0

CONFLUENCIA CIENTÍFICA.

Los ámbitos científicos están bien separados. La delimitación entre Ciencias, Matemáticas e Ingeniería está bien establecida. Es un mito eso de que todas están en todos los temas. Algunos aplican la sinecdoque literaria en el que se toma la parte por el todo y se apropian de otras parcelas propias de otros ámbitos científicos. Confundir la resolución de una ecuación de autovalores con la mecánica cuántica, no deja de ser una metonimia, pongamos por caso, no deja de ser tomar la cosa por lo que hace. Cada entorno científico tiene su parcela de actuación y aplicación y se reconoce su ámbito de existencia con nitidez.

Solo en raras ocasiones confluyen los elementos científicos diversos, necesarios para acometer una línea de enfoque para la resolución de problemas. Una de las que podemos destacar está relacionada con la teoría de la información y la figura de su promotor Claude Shannon. Estableció las bases estructurales que subyacen en la moderna edad de la información. Estudió ingeniería eléctrica y matemáticas en la Universidad de Michigan y la Tesis de Master la desarrolló en el MIT sobre álgebra booliana enfocada al análisis y síntesis de circuitos de interruptores. Fue el origen del diseño de los circuitos digitales. Una década después, en 1948, el año prodigioso de la década prodigiosa, publicó el trabajo titulado Una teoría matemática de la comunicación.

Para Shannon, la comunicación es una necesidad humana y su empelo es que esa comunicación tenga el mayor alcance, lo más rápido y lo más fiable posible. La cuestión era que la ingeniería de los sistemas de comunicación, estaba siempre ligada a una fuente concreta y al medio físico interpuesto. Shannon pretendió formular una teoría unificada de la comunicación. Un auténtico modelo de comunicación: el transmisor codifica la información en una señal que, debido al ruido se corrompe y, posteriormente, es decodificada por el receptor. Aparecen, al tiempo, los conceptos de señal y ruido, que hay que aislarlos. Imaginó que la fuente de información genera el mensaje a comunicar y agrega el ruido de forma probabilística para, posteriormente, alcanzar el receptor y ser de

nuevo separado. Inicialmente, este problema se había enfocado de forma determinista, de cara a reconstruir la señal. El genio de Shannon planteó que la clave es la incertidumbre. Esto, aunque parezca irrelevante, implica desplazar el problema de la comunicación desde el ámbito físico al entorno abstracto. Son palabras mayores, porque requieren la modelización de la incertidumbre haciendo uso de la probabilidad. Hemos trasladado el problema de una Ciencia a la Matemática.

En el entorno abstracto, Shannon planteó la determinación sistemática del límite de la comunicación. Introdujo tres conceptos relevantes: bit (binary digit), como unidad básica de incertidumbre, razón de entropía, H , para cuantificar la incertidumbre en la generación de un mensaje a comunicar y capacidad de comunicación fiable del sistema, C . El concepto de bit no está ligado al soporte físico en el que se expresa, sino a la información que conlleva el estado en el que el soporte se encuentra. No es el 1 o el 0 en la codificación binaria, sino la información que conlleva cualquiera de los dos estados. El número mínimo de bits por segundo para representar una información lo denominó razón de entropía. El valor más bajo de esta magnitud, la menor incertidumbre representa la mayor compresión posible de un mensaje. Un ejemplo lo aclara: escribir un mensaje a razón de 50 letras del alfabeto castellano por minuto, significa enviar uno de los 2750 posibles mensajes cada minuto, conformados por una secuencia de 50 letras. Pensándolo bien, esas opciones se pueden codificar en 238 bits, dado que $2^{238} \sim 2750$. En el contexto de la teoría de Shannon, la razón (velocidad) de entropía será de 238 bits por minuto. Dado que algunas de las secuencias de letras son más probables que otras, de cara a tener significado, la razón de entropía será menor y la compresión posible será mayor.

En el fondo, Shannon proporcionó una fórmula que concretaba el número máximo de bits por segundo que era posible comunicar con fiabilidad, lo que denominó Capacidad del sistema, C . Este número indica la velocidad máxima a la que un receptor puede resolver la incertidumbre de un mensaje y por tanto es la velocidad límite de comunicación. Esto lleva a la consideración de que en una comunicación fiable, que parte de una fuente que se enfrenta a un ruido que se va a superponer, solamente será fiable si se cumple

que $H < C$. Como si se tratara de un fluido en el que, si la velocidad de ingreso de agua en un depósito es inferior a su capacidad de desagüe, el flujo de entrada puede ser constante, sin problemas. Aquí podemos apreciar la dualidad en la que, al tiempo, se formula una teoría de la comunicación, pero, al mismo tiempo, es una teoría de la información dado que concreta como se produce y transfiere ésta. Shannon, también es el padre de la teoría de la información.

Este fin de semana tuve la ocasión de "saborear" una de esas realizaciones endemoniadas en arquitectos que diseñan lugares de concurrencia pública sin dedicar la más mínima atención al hecho de que son personas las que van a asistir y que tienen que comunicarse. Y eso se hace, por los humanos, hablando, primordialmente. Resulta muy penoso no poderlo hacer en una cena a la que van unos cuantos asistentes. Alguien debería vigilar estas cosas con cierto rigor y no permitir abusos por dejación, falta de conocimiento o el más mínimo interés en hacer las cosas de forma aceptable. Pues bien, situémonos en un lugar muy ruidoso, como la inmensa mayoría de los restaurantes conocidos, estrellados o no, el interrogante es: cómo podemos asegurar que nuestro mensaje es transmitido de forma conveniente. Un recurso es repetirlo muchas veces, al que solemos acudir en un restaurante como primera providencia, pero resulta poco eficiente. Seguro que al repetirlo muchas veces, la comunicación es más fiable, pero lo que sacrificamos es la velocidad en aras de la fiabilidad. Shannon, nos recomienda otra cosa mejor, porque repetir un mensaje consiste en usar una y otra vez el mismo código, pero si usamos códigos más sofisticados, lo podremos hacer más rápido, siempre que no superemos el límite de velocidad de transmisión, dado por la capacidad, C , ya que aseguraremos mantener la fiabilidad. En un restaurante incorporaríamos signos, manos fundamentalmente, y llegado el caso, pasaríamos al texto escrito. ¡Menuda faena!

Una derivada de la teoría de Shannon es la apreciación de la naturaleza de la información. Todo indica que lo más eficiente es codificar en binario antes de transmitir desde cualquier fuente. En una emisión de radio de forma analógica, que es muy usual todavía en estos momentos, Shannon nos advierte que se optimiza si la señal se digitaliza en bits y el mapa de bits es el que se hace cabal-

gar sobre la onda electromagnética. Hoy puede aceptarse como razonable, pero en la época en la que fue formulado era sorprendente la propuesta. Al final, cuando se contempla con visión retrospectiva, la aportación de Shannon resulta natural, como si se tratara de una ley universal de la comunicación, respondiendo a leyes físicas de la Naturaleza, como una ley fundamental más. Esta aportación es la que acredita como científico al autor y a su trabajo.

Por si esto no fuera suficiente, Shannon tuvo que inventar la matemática nevesaria para describir las leyes de la comunicación. Su aportación está permeada de nuevas ideas, razón de entropía de un modelo probabilístico, que después ha sido aplicado a ramas de la matemática, como la teoría ergódica, para estudiar el comportamiento de sistemas dinámicos a largo plazo. Shannon muestra su lado matemático.

Y, todavía mas, en esta disección de ámbitos de aportación, consideremos el ámbito ingenieril. Su aportación generó problemas prácticos, que hoy son sistemas básicos subyacentes en todos los sistemas de comunicacion, desde ópticos, hasta interplanetarios, comunicación inalámbrica o la actual 5G, cuyos limites siguen regidos por las leyes de limite de velocidad de Shannon.

Una auténtica confluencia científica de ámbitos en un investigador. Cualquier suplantación resultaría inapropiada. No es corriente que el caso se dé como se ha relatado. Solamente los genios destacan, especialmente, al hacer contribuciones desde distintos entornos científicos. Puede parecer trivial, pero es complejo delimitar el ámbito de las aportaciones, sobre todo cuando se quiere confundir. Solo el concepto genérico de Ciencia es comprensible e integrador. Las aportaciones son limitadas contribuciones desde un punto de vista particular. Algunos investigadores están llamados a condensar, aunar conocimientos, entrelazar ideas y entonces es cuando surgen los avances significativos. Normalmente, son las aportaciones individuales anteriores a la formulación de grandes teorías. Por cierto, hace tiempo que navegamos en un desierto de propuestas de este tipo. Puede que se estén cocinando. Siempre hay esperanza de que algunos de los grandes problemas encuentren solución. Claro que, también es difícil que alguien como Hilbert, venga a enunciarlos, como hiciera en el congreso de 1900 en París,

en el que anunció su famosa lista de 23 problemas abiertos en Matemáticas, después llamados los problemas de Hilbert. La Ciencia es amplia y requiere de amplias miras. Pero avanza, que es lo importante.



pensándolo bien...



T R A Z O 1 . 1 1

EL SILICIO REVIVE.

El mundo de la investigación es genuino. No se da tema por acabado nunca, ni queda nada oculto. Solo hay que dejar mediar el tiempo. Cuando se habla así, se da por sentado que cuando hablamos de Ciencia referimos dos aspectos complementarios, pero diferentes. Uno es, en si, el método que emplea: observación, repetibilidad y falsación, como principios metodológicos. Ciertamente muchas de las llamadas Ciencias concretas, no lo emplean ni de lejos, por mucho que en el lenguaje se confundan o quieran confundirse. A lo más que se acercan es a emplear algunas de las herramientas desarrolladas en el ámbito científico, generalmente de naturaleza estadística. Otro aspecto, diferente, pero tan importante como el anterior, es la difusión de la Ciencia y los mecanismos de contraste, debate y asunción de las propuestas científicas. No siempre están al nivel del primer aspecto, pero se puede afirmar que, a la postre, parece garantizado el debate público y el contraste, examen o enmienda de los presupuestos o propuestas que desde distintos enfoques científicos se hacen.

Por otro lado, la Ciencia propicia la tecnología y ésta, casi siempre, contribuye a mejorar las observaciones, precisar los resultados y mejorar las conclusiones, cuando no conduce a nuevas propuestas más audaces que las propuestas hasta entonces. Siempre estamos preparados para nuevas propuestas que puedan abordar nuevos temas o mejorar el alcance de propuestas anteriores. El mecanismo de los paradigmas y su sustitución, teorizado por Khun, tiene su propia dinámica. Un paradigma está constituido por creencias, principios, valores y premisas que determinan la visión que tiene de la realidad una comunidad científica, que propicia un tipo de preguntas y problemas apropiados para su estudio, junto con los métodos y técnicas adecuadas para la búsqueda de las respuestas. La sustitución de un paradigma por otro no es nada mecánico, solamente, al soportar la carga de muchos componentes nada obvios para la sustitución. Un paradigma abarca consideraciones de dimensiones epistemológica, axiológica, sociológica, teleológica, ontológica y metodológica, también. Su sustitución no es nada sencillo.

El mundo del silicio se ha convertido en un paradigma científico-técnico de complicada sustitución. Hoy nos proponen tantos paradigmas que, a fuerza de usar el término, se le está dejando carente de significado. Si es cierto que, desde hace mucho, se busca una alternativa que no se logra sea competitiva con el mundo de silicio. Por ello, se mejoran constantemente sus prestaciones, potencialidades y nuevas aplicaciones.

La tecnología cuántica lleva tiempo mejorando constantemente sus prestaciones en el área de la computación cuántica. No es fácil dar con la clave para el desarrollo masivo de los ordenadores cuánticos y la versión cuántica de Internet, necesaria para la interconexión. No cabe duda de que la potencia de cálculo de la computación cuántica es muy superior a la de los actuales ordenadores. Trae de la mano la resolución de problemas importantes en el ámbito de la Química, la ciencia de materiales, la medicina, la astronomía o la ciberseguridad, por citar algunos.

Los qubits se han popularizado, mucho antes de lograr que sean estables y confiables y que la interconexión a gran escala pueda ser una realidad. Hay muchos investigadores en ello. Hay muchas empresas con intereses en ello. Pero los avances son escasamente significativos, una vez que los despojamos de la envoltura publicitaria. La teoría va muy por delante de los logros tecnológicos. No siempre ocurre así, pero en este caso, así es.

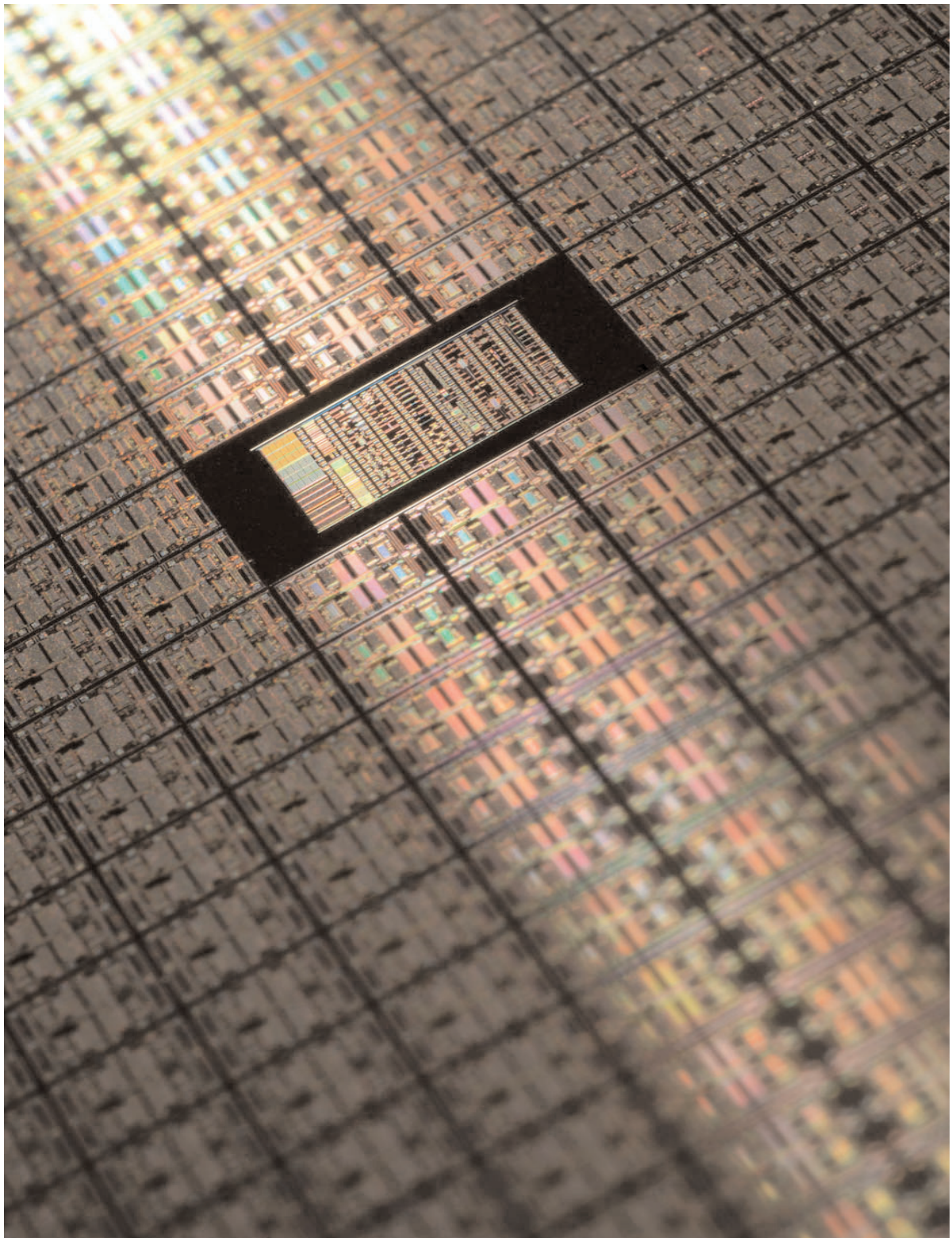
En los últimos tiempos se ha mantenido el debate sobre los qubits de Silicio y la estabilidad y durabilidad que la industria requiere. La propuesta reciente por parte de Higgimbottom y colaboradores, que trabajan en un Departamento de Tecnologías Cuánticas de Silicio en Canadá, es que hay pruebas de que es así. Los denominados centros T, que son un defecto luminiscente específico del Silicio, pueden proporcionar un enlace fotónico entre los qubits. Los centros T, combinan fotones con espín electrónico y se han descrito hasta 150.000 qubits de silicio tipo centro T. Se generan fotones ópticos ideales para fabricar ordenadores cuánticos escalables y distribuidos, porque manejan procesamiento y comunicación a la vez, en lugar de tener que interconectar dos tecnologías cuánticas distintas, una implicada en el procesamiento y otra en las comunicaciones. La frecuencia de emisión de los centros T es la misma

que se emplea en la actualidad en las comunicaciones por fibra óptica en las telecomunicaciones. La clave es que un qubit de silicio se puede comunicar emitiendo fotones en la misma banda que se utilizan en las redes de datos, con lo que se pueden conectar los millones de qubits precisos en la computación cuántica.

Podemos ver, que la tecnología de Silicio, lejos de estar en su canto de cisne, oferta nuevos desarrollos de la tecnología cuántica que pueden impulsar la computación cuántica. Ya disponemos de chips de Silicio a bajo costo con una respuesta en precisión extraordinaria. Están incluidos en nuestros teléfonos y ordenadores actuales, incluso en los mas potentes superordenadores existentes. La ventaja del avance logrado es que la computación cuántica puede derivar de la convencional, en la que se han desarrollado conocimientos e infraestructuras que están a disposición de la nueva era de la computación cuántica. Una forma de economía circular que evita tener que crear toda una nueva industria. Puede considerarse una ventaja competitiva de primer nivel. Mantiene el paradigma del Silicio, con nuevas opciones y amplias posibilidades. En cualquier campo, la última palabra nunca está dicha. Deberían tomar nota los que descubren la pólvora todos los días, que la humildad en Ciencia es el primer y único valor de un investigador que se precie. ¡Así son las cosas! Y mejor que así sean.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 1 2

EFFECTO CUÁNTICO NUCLEAR.

Por cotidiana, accesible y próxima, el agua nos parece simple, sencilla, elemental. Nada más lejos de la realidad. Es uno de los líquidos más complejos que ha propiciado la Naturaleza. En la actualidad se siguen descubriendo características nuevas, que explican alguno de sus comportamientos anómalos.

El agua juega un papel fundamental para la existencia de vida en la Tierra. Es el principal componente del cuerpo humano: ya que tenemos un 75% de agua al nacer y aproximadamente un 65% en edad adulta.

Al contrario de lo que ocurre con la mayoría de los líquidos, la densidad del agua es menor en estado sólido (0,92 g/l) que en estado líquido (1 g/l). Esto significa que, según el principio de Arquímedes, el empuje que recibe el agua sólida en un líquido de ella misma, es el peso del volumen de agua desalojada. Por consecuencia, al ocupar una cantidad de agua un volumen mayor, cuando es sólida, desaloja más líquido (agua) que esa porción cuando es líquida y, por tanto, el empuje que recibe el agua sólida es mayor. El resultado final es que el hielo flota. Un cubito en un vaso de agua, queda en la superficie. Un iceberg queda flotando en el mar. Al mismo tiempo, el agua permanece líquida por debajo, aun cuando en la superficie se haya congelado. Gracias a ello hay vida por debajo del hielo.

No es esta anomalía la única que exhibe el agua. La tensión superficial del agua es extraordinariamente elevada. Es esa fuerza que se ejerce sobre cualquier cuerpo dispuesto sobre la superficie del líquido que no se compensa con otras moléculas por tener aire por encima. Es la responsable de que algunos insectos caminen sobre la superficie del agua. El ascenso de los líquidos por los tubos capilares, la acción coloidal o la detergencia, son otros ejemplos de la presencia de las fuerzas superficiales. Otra característica singular es la extraordinaria capacidad de almacenar calor. Para calentar un kilo de agua 1 grado centígrado a una temperatura de 20 °C se requiere una energía de 4.183 kilojulios/ K. Mientras que

si es hielo solamente se requieren 2.1 kJ y si es aluminio 0.9 kJ. Esta enorme cantidad de calor necesario para elevar la temperatura un solo grado, es el mismo que ha de ceder para bajar un solo grado. El calor específico de la zanahoria y la patata es de $4.040.0 \pm 0.1247$ y 5.531 ± 1.6647 Kilojulios por gramo y por grado (el del hierro, buen conductor es de solo 0.534 ± 0.0147 kJ/°C gramo, muy próximos como vemos. Gracias a estos valores el agua actúa como regulador del clima, absorbiendo buena parte de la energía solar que llega a la Tierra y devolviéndola cuando ésta falta diariamente, actuando de termostato regulador. Todas estas propiedades anómalas son requisito indispensable para que la vida sea tal cual la conocemos hoy.

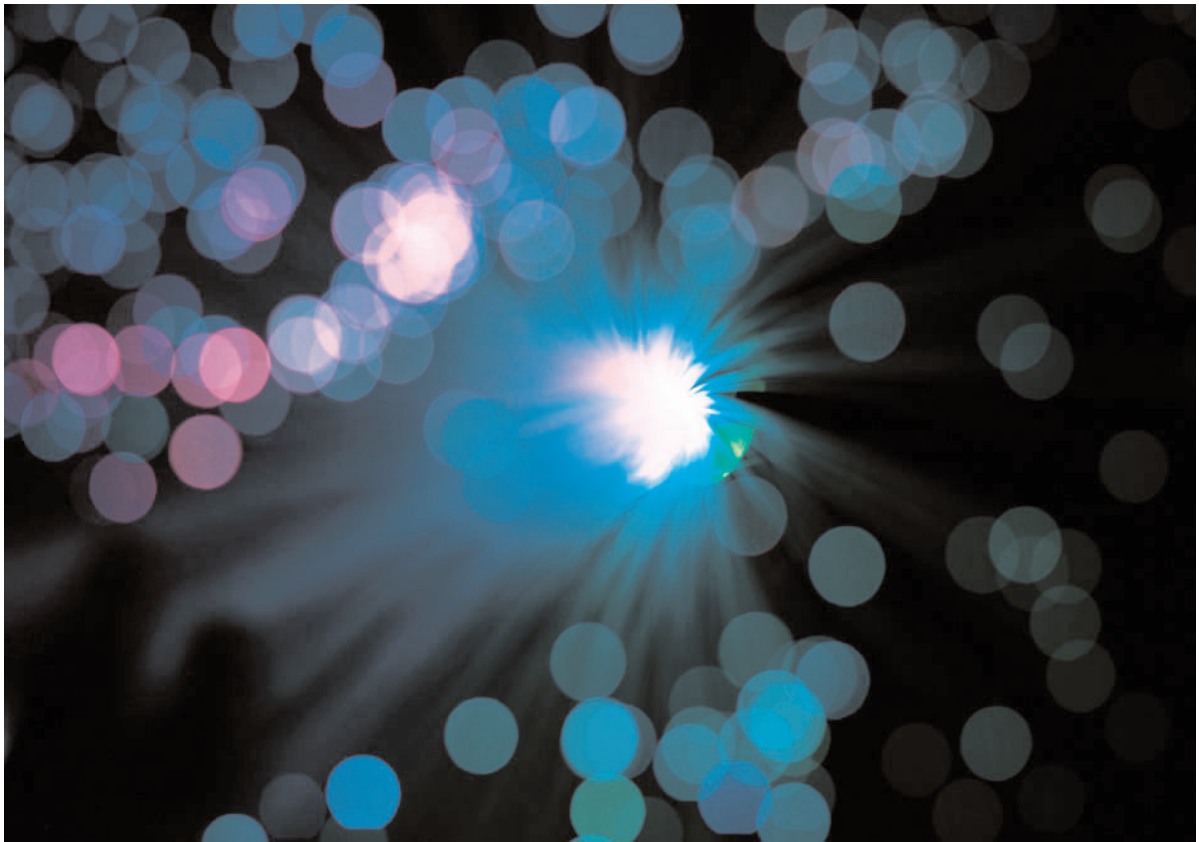
En tiempo reciente se ha descubierto una característica que puede dar lugar a explicaciones de alguna de las anomalías observadas en el agua. En la reciente publicación en Nature de un trabajo liderado por Nilsson, de la Universidad de Estocolmo y en colaboración con investigadores de la de Stanford, se ha observado en directo cómo los átomos de hidrógeno actúan sobre las moléculas de agua vecinas (haciendo vibrar los enlaces) al excitarlos con radiación láser. Es posible que en el descubrimiento efectuado, se pueda basar la explicación de las propiedades del agua y cómo actúa y en concreto como incide en el comportamiento a nivel molecular de las proteínas en los organismos vivos. Se le ha denominado efecto cuántico nuclear y describe que una red de enlaces entre los átomos de hidrógeno, que resultan cargados positivamente y los átomos de oxígeno, que lo están negativamente, se mantienen juntos (el denominado puente de hidrógeno), cosa que no es nueva. Pero si lo es la observación directa de como interactúa una molécula de agua con sus vecinas. La masa tan pequeña del hidrógeno le hace comportarse como una onda cuántica y en el trabajo referido demuestran por vez primera que la respuesta que se observa de la red de enlaces de hidrógeno a un impulso de energía en el marco de la mecánica cuántica, como todos los procesos moleculares, con espaciados energéticos descritos por la mecánica cuántica y en los que descansan las propiedades del agua.

Se trata de que se ha observado, no conjeturado ni teorizado, sobre el comportamiento cuántico de la molécula de agua. Las dificultades en tal observación se debían a que los enlaces de

hidrógeno son sumamente rápidos en sus propiedades de vibración y, naturalmente, pequeños. Se han podido obviar las dificultades empleando una cámara de electrones de alta velocidad para detectar los movimientos moleculares, consecuencia de la dispersión de un haz de electrones que se ha hecho incidir sobre la muestra. La secuencia experimental consistió en generar chorros de agua líquida de 100 nanómetros de espesor, lo que supone que son unas 1000 veces más delgados que el ancho de un cabello humano y se hizo incidir sobre esta chorro una luz láser con frecuencia del infrarrojo para incidir en la vibración de los enlaces. Sobre esta situación vibratoria se hizo incidir un pulso corto de electrones de alta energía (del orden del MeV). A partir de esta situación se obtuvieron instantáneas de la estructura atómica registrando los cambios de las moléculas. Al unir los fotogramas se obtuvo una película que reflejaba el movimiento de cómo respondía la red de moléculas de agua a la luz incidente. El estudio se centró en grupos de tres moléculas de agua y se evidenció que cuando una molécula de agua excitada inicia la vibración, su átomo de hidrógeno tira de los átomos de oxígeno de las moléculas de agua vecinas, antes de ejercer la repulsión que expande el espacio entre las moléculas. Las técnicas de espectroscopía que se han utilizado hasta ahora no ponían de relieve estos detalles. Ahora se ha visto directamente cómo se mueven. Es decir, se dispone de una técnica que posibilita obtener información de la naturaleza cuántica de los enlaces de hidrógeno y cómo actúa e incide en las propiedades moleculares del agua y, por ende, su papel en muchos procesos biológicos y químicos, incluidos el origen de la propia vida, gracias a la mediación del agua.

En este marco el descubrimiento más reciente, pues, conlleva que el agua existe en dos estados líquidos que tienen grandes diferencias, tanto en estructura como en la densidad de aquélla. Como señala Nilsson "La característica más novedosa y destacable es que hemos encontrado que el agua puede existir como dos líquidos diferentes a temperaturas bajas, en las que la cristalización del hielo es lenta". Es decir, el agua no es un líquido complicado, sino dos líquidos simples con una relación complicada. Un estado cristalino del agua se transforma en un líquido viscoso que se transforma, casi inmediatamente, en un líquido diferente, incluso más viscoso, de una densidad mucho más baja. La importancia de la aportación es, además del alcance del conocimiento básico descubier-

to, una mayor comprensión de la molécula del agua, lo que podría aportarnos pistas para conocer más acerca del origen de la vida e incluso conducirnos a nuevos conocimientos sobre cómo purificar y desalinizar el agua en el futuro.



T R A Z O 1 . 1 3

VIENDO LA QUÍMICA.

Las reacciones químicas son esos procesos en los que se manifiesta la Química. La esencia de las cosas es la parte fundamental o más importante de algo; el conjunto de características permanentes que concretan una cosa y sin las cuales dejaría de ser lo que es. La materia es la esencia de los cuerpos físicos. Se presenta en distintos estados que son concreciones del comportamiento de los átomos o moléculas que constituyen las sustancias y cuyas características están sujetas a las presiones y temperaturas existentes. Sólido, líquido, gas, plasma, condensado de Bose-Einstein, son los primeros de la relación. Otras formas reconocidas son el plasma de quark-gluones, el líquido cuántico de espines o el estado degenerado.

El plasma de quark-gluones es el estado en el que se asume que se encontraba la materia del universo una millonésima de segundo después del Big Bang y antes de comenzar a enfriarse, cambiando a otros estados con menor contenido energético. Es ese estado que corresponde a unas temperatura y energía extremas en que toda la materia se configuró en una densa sopa de partículas fundamentales: quarks y gluones, que podía desplazarse a velocidades próximas a las de la luz. De esta manera, las fuerzas atractivas entre ellos son tan débiles que es posible que mantengan su individualidad y puedan desplazarse libremente. Las partículas se comportan no como un gas ideal, sino como un superfluido, como confirmaron los experimentos del CERN en 2003 y 2005.

El líquido cuántico fue propuesto por el físico y ganador del Nobel Philip Warren Anderson, en la década de los 70. Fue en 2016 cuando se ha demostrado su existencia real. Lo presentan en ciertas condiciones de presión y temperatura algunos minerales como la herbersmithita. Usualmente, los espines de los electrones se alinean, mientras que en el estado líquido cuántico de espines, nunca llegan a alinearse, manteniéndose en una constante fluctuación que conservan hasta temperaturas próximas al cero absoluto. Resulta ser una propiedad singular, dado que, en los restantes estados de la materia, el espín se congela a esa temperatura.

Confiere unas características magnéticas singulares, que son objeto de intensa investigación.

El Estado degenerado es consecuencia de presiones extremas, como las que se dan en el núcleo de algunas estrellas, en las que las partículas resultan estar comprimidas en un espacio mínimo. Como dos partículas no pueden ocupar el mismo espacio en el mismo momento, como postula el principio de Pauli, esto provoca que los átomos degeneren y pierdan su estructura: los electrones abandonan sus órbitas y comienzan a moverse a velocidades cada vez más cercanas a la de la luz, ejerciendo una fuerza expansiva que compense la presión externa. Un crecimiento desmesurado de la presión hace que se supere el límite de Chandrasekar, en cuyo caso, la presión externa se hace insostenible y los núcleos atómicos también degeneran, pierden su estructura, y colapsa en una acumulación de neutrones y protones.

El hielo superiónico es un estado descubierto en el agua en 2018. Cristales de hielo a una presión unos 2 millones de veces superior a la presión atmosférica y a temperaturas próximas a los 5.000 °C, sufren un empaquetamiento, al tiempo que se desvanecen los enlaces por la elevada temperatura. Conviven dos fases, una líquida y una sólida. Los átomos de oxígeno responden a una estructura cristalina, a través de la cual fluyen los núcleos de hidrógeno. Se piensa que debe darse en planetas gigantes gaseosos y helados como Urano o Neptuno. Falta confirmar que otras sustancias sometidas a condiciones parecidas, adoptan esta ordenación en condiciones similares, para que pueda aceptarse como un nuevo estado de la materia.

La materia, en cualquiera de los estados citados o por citar, sufre transformaciones al poder adoptar configuraciones en las que permanecer en forma estable en las condiciones del medio circundante. Los procesos que tienen lugar en esas transformaciones son la esencia de la Química. Durante mucho tiempo nos hemos tenido que conformar con la constatación de los estados en que se encontraba un sistema, para conjeturar el proceso que había tenido lugar para pasar de un estado a otro. Es la química en diferido. No se disponía de un reloj capaz de medir tiempos a escala molecular o atómica que permitieran detectar, en tiempo real, las transformaciones.

Con el advenimiento del láser hemos dispuesto de relojes de nano, femto y atosegundo, pero en especial, el de femtosegundo es el genuino para el estudio en directo de las reacciones químicas. Gracias a Ahmed Zewail, premio Nobel 1999, disponemos de una disciplina, la femtoquímica que dedica su atención a las reacciones químicas en directo. Esto permite "ver la química", al asistir en directo a las transformaciones

No obstante, hay reflexiones que, aun no disponiendo de tecnologías ad hoc, como la señalada, permiten acercarse convenientemente a la intimidad de las transformaciones químicas. Suelen ser un alarde de imaginación, con certeras referencias a los elementos fundamentales de un proceso que permiten desvelar sus secretos más íntimos. Cuando solamente se referían como estados de agregación de la materia el sólido, líquido y gas, surgía el fuego como un estado inclasificable. No se determinaba con precisión a que estado de agregación se asignaba ni la razón por la que estaba caliente, que, empíricamente, se comprobaba al menor descuido. Probablemente, fue el primer proceso que contempló la Humanidad en directo y que pudo observarlo con detenimiento. Uno de los que resultó fascinado por el fuego fue el químico Faraday que vivió mediados los siglos XVIII y XIX, siendo descubridor de la inducción electromagnética, el diamagnetismo y la electrolisis y promotor en 1825 de las Conferencias de Navidad de la Royal Society de Londres, que se mantienen en la actualidad, cuyo objetivo era y es, presentar a los jóvenes las maravillas de la Ciencia, cuidando el espectáculo. Su exposición más reconocida es la de 1848 titulada "La historia química de una vela".

El fuego es una reacción química. Le ocurre a los gases, como consecuencia del calentamiento de sólidos y/o líquidos que producen vapores que, al mezclarse con oxígeno, prenden. Por tanto, el fuego no es ni sólido, ni líquido, ni gas, sino lo que le ocurre a un gas. Un proceso. El proceso tiene lugar cuando se calienta un sólido o un líquido, se rompen enlaces y se libera gas, que al mezclarse con el oxígeno y en contacto con una fuente de encendido, produce la llama. Una vela encendida es un expositor de la química, se puede ver la química en ella.

Esta inquietud inicial de Faraday, fue compartida por muchos otros científicos que reflexionaron sobre aspectos implícitos en el proceso del fuego. El fuego está asociado al calor. La combustión es una reacción exotérmica, con lo que el calor liberado supera a la energía que absorbe. La reacción implícita en el fuego libera mucha energía, que es la causa de que el fuego sea caliente. Por otro lado, la energía puesta en juego es capaz de excitar los electrones a estados de mayor energía que al decaer emiten luz en el rango visible, que proporcionan el brillo de la llama..

Son distintos niveles de examinar los procesos químicos. En este caso se ponen en juego estados de la materia y procesos que tienen lugar en ella. En común la observación y la reflexión. Valioso, en todo caso: ver la Química.



LA MENTE DE LOS ORDENADORES.

Vivimos unos momentos en los que, de forma casi permanente, la actualidad del mundo de la computación se centra en la posibilidad de que la Inteligencia Artificial General sea un hecho. Se clama, se reclama y se intenta, de forma constante, enarbolar el anuncio de que se ha conseguido emular la mente humana. Se ha incurrido en sucesivas ocasiones en el anuncio, desmentido poco después, de que ya estaba dispuesto. Claramente, los cazadores de noticias están al acecho y suelen cometer errores de valoración, probablemente por no tener la suficiente preparación técnica para valorar el alcance de algún anuncio técnico. Lo cierto y verdad, es que mientras esto ocurre, la intensidad con la que se insiste en la mente de los ordenadores, es proverbial.

No contentos con la propuesta de Turing, se ha renovado el experimento mental en la habitación china, propuesto del filósofo norteamericano John Searle, de nuevo planteando que la capacidad de ordenación de un conjunto de símbolos no entraña que se disponga de una comprensión de los mismos. Es una llamada de atención que insiste en la dirección de tratar de desbrozar la enorme dificultad que tenemos los humanos de precisar el concepto de inteligencia y la incapacidad para definirla. Las cuantificaciones tipo coeficiente de inteligencia, han quedado obsoletas y fuera de una razonable aproximación a la concreción de aquélla. Como afirma y conlleva, la propuesta de Searle, la capacidad de entender no surge de la sintaxis. Ello supone que se cuestiona el paradigma computacional que se ha propuesto y desarrollado desde el ámbito de las ciencias cognitivas, cuando se proponen comprender el funcionamiento de la mente humana. Por cierto, es éste un aspecto fundamental y definitivo para poder hacer operativas aproximaciones artificiales a la inteligencia. Sigue siendo un paradigma fundamental comprender como aprenden los niños.

La propuesta de Turing se ha conservado válida durante mucho tiempo, por la agudeza de la misma. Pretendió concretar cuando una máquina sujeta a un programa almacenado podía mantener una conversación indistinguible con la de un humano. El algo-

ritmo que propuso consistía en que si una máquina, hipotéticamente, tiene capacidad lingüística propia de los humanos, al ponerla frente a humanos en el papel de jueces, si el 30% de éstos estiman que están hablando con una persona real, es una evidencia de que la máquina puede replicar los estados mentales de los humanos. En el fondo, la lectura del proceso inverso, nos lleva a considerar que en ese caso nos encontramos ante un modelo explicativo del funcionamiento de los estados mentales humanos.

La propuesta de Turing impulsó, de facto, en el ámbito cognitivo, que la reproducción de las reglas de procesamiento de la información nos llevaba a procesos de adquisición de conocimiento. Es una forma de considerar que la mente es una copia de la realidad, herramienta de representación del mundo exterior y el privilegiado lugar de conocimiento por excelencia. Se han desarrollado muchos programas que intentaban materializar el test. Joseph Weizenbaum desarrolló el programa Eliza, en honor de la heroína de Pigmalión, que era capaz de repetir, pero nunca llegaba a aprender- Recuerden el film My Fair Lady. Pero muchos creyeron que hablaban con una persona cuando eran interlocutores de ELIZA. Hay muchas anécdotas sobre ello, desveladas en el libro "La frontera entre el ordenador y la mente", del mismo autor, resultado de plasmar en un texto la experiencia vivida que le llevó a reflexionar sobre lo que había hecho. Similares inventos como CAPCHA, SIRI y muchos otros hacen algo parecido.

Muchos pretenden demostrar la bondad de la propuesta de Turing y muchos otros la ponen en duda. Searle pretendía dar la razón a Turing. Aprecia la diferencia entre la Inteligencia artificial débil o estrecha, de la fuerte o profunda. La primera simula el entendimiento, aunque no incluye estados intencionales, con lo cual podemos considerar que son una forma de describir la mente, pero no la igualan. La segunda incluiría estados mentales como los humanos, entendiendo las historias y narrando relatos coherentes. Esta segunda alternativa no considera posible crearla y es para ello que ideó el experimento denominado "habitación china". Consiste en plantear una situación hipotética de un angloparlante, que no sabe chino y lo encierra en una habitación donde debe responder a interrogantes relacionados con un relato que le narran en chino. La cuestión relevante es que dispone de unas reglas escritas en

inglés, que permiten ordenar los símbolos chinos, aunque no explican su significado, sino que solamente describen como se deben utilizar. La persona inquirida responde apropiadamente, aun cuando no ha entendido nada del contenido. Desde el exterior de la habitación, un espectador que contemplara el proceso induciría que la persona de dentro de la habitación entiende el chino. La conclusión es que un programa de ordenador puede imitar la mente humana, pero no significa, en modo alguno que ese programa de ordenador sea equivalente a la mente humana. Le separan tanto la capacidad semántica como la intencionalidad.

No son suficientes los símbolos para desarrollar la comprensión del lenguaje. La clave resulta ser la forma en que se construyen los significados y donde radican éstos. Cuando se observa a los niños, hoy nietos, en mi caso, uno se sorprende de los mecanismos implícitos que operan en el aprendizaje, al tiempo que se pone de relieve la incapacidad de comprender los mecanismos que lo hacen posible. De hecho, los pensadores experimentados sitúan los significados desde la cabeza de las personas mediante conjuntos de estados mentales innatos, hasta los que propugnan que se van acumulando, mediante la construcción social de sistemas de reglas y prácticas que son relatos compartidos, al constituirse en auténticas reglas del lenguaje.

Como siempre ocurre con las propuestas de alcance, hay críticas al experimento de la habitación china, como los que reparan en que pese a estar encerrada la persona en una habitación, la propia configuración y las reglas operativas puedan conllevar comprensión del chino. Tendría contestación en formas de organizar el experimento de forma que se impida la comprensión. Para otros, es un experimento imposible técnicamente, aunque ello no implica que lo sea lógicamente. Básicamente, son especulaciones, aunque muy cercanas al sentido común. Ponen de relieve las dificultades de los humanos para concretar el concepto de inteligencia, aunque hacemos constantemente referencia a ella. La ignorancia es un impulso irresistible. Ahí estamos. Y estaremos por un tiempo, al menos.



T R A Z O 1 . 1 5

VIVIR DEL AIRE.

Desde el principio de los tiempos, la Humanidad intenta imitar a la Naturaleza en los procesos eficaces en los que se ocupa. La técnica es la adaptación de la Naturaleza para servir mejor a nuestros intereses. La fotosíntesis permite a las plantas almacenar la energía solar en forma de glucosa, al hacer participar al agua y al dióxido de carbono. De forma artificial, se viene intentando emular el proceso, aunque no sea la acumulación en forma de azúcar, sino de combustibles para aprovechamiento en vehículos, máquinas y procesos industriales.

Uno de los subproductos de la fotosíntesis artificial es la intervención en la regulación de la concentración de gases de efecto invernadero, dado que quedarían atrapados, en parte, claro está, en los productos generados. La conjetura de este beneficio se basa en la posibilidad de lograr un proceso circular sostenible que mantendría la contaminación atmosférica constante. Los procesos implicados son más eficaces y sostenibles que los que derivan de productos fósiles.

El proceso requiere el concurso de catalizadores, que son la clave de bóveda para imitar la clorofila y los fotosistemas encargados de transformar el agua y el dióxido de carbono en glucosa. Un compuesto de rutenio se consideró la primera molécula capaz de catalizar la descomposición del agua en sus componentes, oxígeno e hidrógeno, con una eficiencia similar a la del proceso natural. La publicación en la revista Nature, incluye al investigador español Lloret que, junto a otros numerosos investigadores, trabaja en el proyecto europeo Sunrise, que concluye en que la velocidad del proceso logrado es similar a la del Fotosistema II que actúa en las plantas verdes.

El proceso natural está descrito a través de dos etapas. La primera de ellas, supone la oxidación de la molécula de agua, que genera oxígeno y tiene una exigencia energética importante. Posteriormente, se produce el hidrógeno. El papel del catalizador es facilitar el proceso disminuyendo la energía de activación reque-

rida en el primero de los procesos. La Naturaleza en miles de años de evolución ha logrado perfilar un proceso auténticamente eficaz. La necesidad de los microorganismos de producir energía para su supervivencia, les llevó a una adaptación para utilizar la energía solar y hacerla efectiva con los recursos inmediatos que tenía.

Hoy, llamamos técnicas disruptivas a las que rompen moldes. Ciertamente, en muchas ocasiones son los procesos alternativos que, lejos de suponer rupturas a los procesos convencionales, son formas de resolver problemas, como hemos enunciado desde siempre. En este caso, el objetivo está puesto en neutralizar las emisiones negativas de dióxido de carbono, asociadas a la quema de combustibles fósiles. La idea de pretender emisiones cero en 2050, como se formuló en París pretende, en el fondo, que no suba más de dos grados la temperatura a escala planetaria. No se suele airear que la pretensión puede ser un objetivo, pero la servidumbre está asociada a las decisiones drásticas que hay que tomar y, a lo que es peor todavía, que la tecnología no está en condiciones de servir como propósito alternativo para sustituir a los procesos convencionales. Las baterías eléctricas no parecen ser aprovechables para este cometido, al margen de que, desde una visión detallada, ofrecen dudas en cuanto al balance contaminante. El fantasma del Cobalto en los residuos, protagoniza la incógnita.

La propuesta ofrece el interés de reciclar el propio dióxido de carbono que se produce para generar el combustible. Pero, se produce de nuevo el dióxido de carbono que hemos secuestrado, con lo que la esperanza es conseguir un balance nulo. En todo caso, para que sea una realidad la fotosíntesis artificial, es preciso que el precio de la energía eléctrica tenga un costo mucho más bajo que el actual.

Hay muchos proyectos rotulados con la denominación de sunrise, desde proyectos financieros hasta deportivos, la verdad es que sonreír es un recurso al que se acude con harta frecuencia, aunque el tema esté muy alejado de ser "humano". En nuestro caso, la referencia es el programa liderado por Huub de Groot de la Universidad de Leiden (Holanda). El objetivo, como hemos dicho, transformar la energía solar en combustibles y productos químicos como una alternativa, para contribuir a la disminución de las emisio-

nes de dióxido de carbono. Es una forma efectiva de mitigar la evidencia del calentamiento global al que contribuyen de forma "eficaz" los combustibles fósiles, que lo vienen haciendo durante más de un siglo.

La búsqueda de otras fuentes alternativas de energía es un imperativo de primer nivel. Las baterías, no está claro cuál es su papel, no solo por la velocidad con la que evolucionan, sino que la limpieza de carácter no está tan clara cuando se analizan los procesos involucrados con cierto detalle. No subir más de dos grados la temperatura media, hasta el 2050 es un escenario que se enuncia como emisiones cero, exige logros casi inmediatos, que impliquen decisiones suficientemente drásticas y parece evidente que las tecnologías actuales no están en condiciones de garantizarlo a coste razonable.

Hay otras iniciativas a nivel europeo, como la denominada Energy X, con objetivos concomitantes con el proyecto sunrise. Pretende sintetizar combustibles y productos químicos por vías sostenibles. Otro proyecto destacable es el A Leaf, que pretende utilizar la luz solar y el dióxido de carbono para obtener combustibles líquidos. Finalmente, el programa Sun to Liquid es un sistema de concentración solar que pretende transformar el dióxido de carbono en combustible para aviación.

En suma, proyectos que insisten en utilizar la Naturaleza como referencia para inspirarse en mecanismos que han validado su eficacia a lo largo de grandes periodos de ejecución. En el caso de la fotosíntesis artificial, son necesarios los catalizadores que permitan imitar a la clorofila y a los fotosistemas para transformar el agua y el dióxido de carbono en glucosa. Metales abundantes y económicos como el hierro, el cobalto o el níquel, son los firmes candidatos para avanzar una propuesta de alcance y que permitan responder literalmente al dicho "vivir del aire".



T R A Z O 1 . 1 6

SECRETO CUÁNTICO DE LA VIDA.

Desde siempre la Humanidad se ha preocupado por el origen de la vida. Es un tema recurrente para el ámbito social. Es uno de los grandes problemas a desvelar y una cuestión a resolver para la que no tenemos mucha idea de por dónde comenzar. A lo largo de la Historia ha habido momentos en los que la preocupación ha aflorado de forma más estrepitosa. Sin ir más lejos, el siglo XIX fue especialmente fértil en ideas atrevidas. Muchos científicos pensaron que la vida era una cuestión un tanto mágica. Se configura el concepto de Química Orgánica y llega a concebirse que habría una referencia orgánica para la vida, lo que conlleva asociada una receta para hacerla emerger y que se trata de llegar a desvelarla, lo cual era cuestión de tiempo. Viene al caso recordar que a finales del XIX, desde la Física, se difunde la idea de que ya todo es conocido, desde la formulación de las leyes de la dinámica por Newton y solamente se requiere un "Superser" que conozca las posiciones y velocidades de todas las partículas del Universo, para describir el futuro y el pasado del mismo. La formulación del principio equivalente en el ámbito orgánico, condujo a la creencia de que la vida emergía de un laboratorio; ya era una cuestión de detalle lograrlo. La química era el eslabón perdido entre la materia y la vida.

En 1952 Miller y Urey llevan a cabo un experimento que conectó el mundo mineral con el orgánico. Fue el inicio de la abiogénesis experimental. Los aminoácidos emergían al hacer pasar corriente eléctrica a través de una mezcla de agua y metano, amoníaco, hidrógeno y monóxido de carbono, como un diseño de atmósfera primitiva. La síntesis de los compuestos orgánicos debió resultar sencilla en la Tierra primitiva. Nació la exobiología. Otros investigadores, posteriormente, variando los ingredientes y las proporciones, han obtenido componentes simples de los ácidos nucleicos e incluso la molécula de ATP. En todo caso lo que fue un prometedor avance, indujo muchas frustraciones.

Schrödinger publicó un texto en 1944 titulado ¿Qué es la vida?, dando origen a la biología molecular. La aportación de Schrödinger se concreta en que la transmisión de la información

genética a través de las distintas generaciones implica un proceso cuántico por la naturaleza discreta de la misma. Cabe citar que en la época no se conocía para nada lo relativo a la codificación genética. Boole nace en 1815 y fue al final de su vida cuando propuso los conceptos de lógica matemática y logró simplificar los enunciados al trasladarlos a respuestas de sí o no, utilizando una aritmética binaria. La aportación de Schrödinger fue genial en el sustrato referido. Avanzó que como la mecánica cuántica proponía una estructura de la materia en base a átomos y moléculas, enlaces químicos y procesos de ruptura y formación de enlaces, parecía natural que fuera la mecánica cuántica la que abordara la cuestión de la materia viva.

Un sistema vivo no tiene ningún parecido con cualquier otro sistema físico conocido. Podemos tener la tentación de que no deja de ser un sistema químico más, pero su especificidad pone de relieve efectos cuánticos nada triviales, que inciden en los biosistemas. Lo que no parece tener duda es que la mecánica cuántica ha debido jugar un papel importante en el surgimiento de la vida. La forma de las moléculas y sus afinidades químicas son determinantes para las funciones celulares y, no cabe duda de que las explicaciones pertinentes tienen que venir de la mano de la química cuántica. Los efectos genuinamente cuánticos como el entrelazamiento, el efecto túnel o los derivados del espín, todos ellos envueltos en la vestimenta de las propiedades coherentes, son efectos no triviales que jugarán un papel, en casos, destacado.

La descripción cuántica del origen de la vida, que propone Davies, implica que pudo emerger del mundo atómico, directamente. Desde la descripción ortodoxa, hoy en vigor, se dio un proceso de complejidad creciente precediendo la transición de los primeros sistemas vivos, que no tuvieron necesariamente que ser células individuales, sino grupos colectivos de ellas. Contrasta con las corrientes en las que el secreto de la vida no está ligado estrictamente a su complejidad y a sus ingredientes, sino al proceso de información y las habilidades para reproducirse.

Los sistemas vivos son procesadores de información. Los genes son la base de datos que se replican y que intervienen en lo que se ha dado en denominar la selección natural. La información

fluye de forma natural de abajo a arriba en el organismo vivo y la selectividad tiene que dejar rastro en los procesos moleculares implicados. En este contexto, es relevante que la impronta cuántica debe quedar manifiesta. Las moléculas biológicas juegan el doble papel de químicas e informacionales, patentes en los dos niveles del dualismo fenotipo/genotipo. Se puede interpretar que el hardware está expresado en la componente química y que el software está incluido en la información. Si queremos conocer el origen de la vida, habrá que interpretar el hardware y el software.

Se ha dispensado mucha atención a los aspectos de hardware, cuando se aborda la cuestión del origen de la vida. Se ha buscado el paso detallado del mundo mineral al orgánico y mucho menos a como se ha organizado, incluso en el organismo más simple. La biogénesis requiere a estas alturas una nueva visión conceptual, como la que aporta Davies, que es ver la vida como un proceso informacional. La reproducción se contempla hoy como una replicación de las estructuras materiales, desde el ADN a la célula completa. Conociendo la información para la replicación, se debería conocer como comenzó la vida.

En el tratamiento cuántico de la información, los bits son reemplazados por los qubits. El entrelazamiento y la superposición juegan el papel del paralelismo computacional, con los consiguientes beneficios en capacidad de proceso y velocidad de la información. Se trata de concebir los sistemas vivos como procesadores cuánticos de información. Muchos investigadores destacados se han sumergido en esta interpretación. No es trivial la concepción de que la mecánica cuántica no solo explica la estructura de las moléculas de la vida como el ADN o el ARN, sino que también juega un papel decisivo en el procesamiento de la información, almacenando y procesando no solo bits clásicos sino qubits.

Davies propone tres alternativas significativas. Una es que la Mecánica Cuántica juegue un papel decisivo en la emergencia de la vida, aun cuando dejó de jugarlo al hacerse la vida más compleja o su papel relevante, solamente es esporádico. Otra opción es que la vida nació clásicamente y evolucionó a un comportamiento cuántico, aspecto detectable dado que si los sistemas biológicos son capaces de procesar información mecanocuántica, ganarían

velocidad y capacidad y la selección natural debería descubrir y amplificar esas capacidades si ocurriera así. Una tercera opción es que la vida apareció como sistema complejo, pero evolucionó hacia el límite cuántico, en el que la incertidumbre establece límites a la eficiencia de los procesos biomoleculares.

En suma, el dilema actual radica en que la maquinaria celular puede explotar las opciones cuánticas e interpretarse como que las mejoras, que aporta la conducta cuántica, son consecuencia de la evolución o, alternatively, se pueden interpretar como un remanente del origen cuántico de la vida. Probablemente, es un momento propicio para abordar temas de calado como éste, ahora que conocemos más acerca de cómo abordar, no solo de forma práctica, sino conceptual, un problema que nos atañe a todos, recurrente y que pide una puesta al día de los avances que nos puedan acercar a comprender cómo emergió la vida en un escenario material.



T R A Z O 1 . 1 7

ENERGÍA VERDE GENUINA.

Desde siempre, ha cautivado a la Humanidad la capacidad de las plantas para sintetizar sus ingredientes vitales a partir de la luz solar. Inicialmente, se configuró la idea de que las plantas tomaban su biomasa del suelo directamente. En el siglo XVII, von Helmont realizó un experimento con un sauce para concluir descartando la antigua hipótesis. Comprobó que un sauce que, inicialmente, tenía un peso de 2,27 kilogramos, tras cinco años pasó a pesar 67,7 kilogramos, aun cuando el peso del suelo circundante solamente había disminuido 57 gramos. De aquí dedujo que la mayor parte del peso, debía proceder del agua. Muy razonable propuesta, cuando se ignoraba la existencia de los gases. Priestley en 1772 realizó un experimento introduciendo un ratón, una vela y una rami-ta de menta en una campana de vidrio, herméticamente sellada. Cuando solamente encerraba el ratón y la vela, consumían el aire. Cuando se añadía la planta "revivía" el aire. En 1700, Ingenhousz y Senebier, identificaron que el aire "revivía" durante el día y que era el dióxido de carbono el que capturaban las plantas. En 1776, Lavoisier identificó que eso que se denominaba "aire revivido" era un gas: el oxígeno, que había sido aislado unos años antes, de forma independiente, por Scheele (1742-1786) y Priestley (1733-1804); pero no fueron capaces de interpretar apropiadamente su comportamiento químico.

La cuestión a dilucidar era el mecanismo capaz de generar el oxígeno. Engelmann, realizó un experimento empleando las algas *Spirogyra* e identificó que producían el oxígeno en las partes azul y roja del espectro. Es decir, de los numerosos pigmentos que forman parte de las plantas y que todos aceptan algunas partes del espectro de la luz visible, el pigmento fotosintético era el clave, aceptando la radiación de las regiones azul y roja del espectro. Captando esos tipos de radiación, la que no absorbían resultaba ser la verde, fundamentalmente, y al reflejarla otorgaba el color verde (azul-verde) propia de la clorofila, que es el que percibimos. Blackman en 1905 identificó que, cuando la intensidad de la luz es baja, un aumento de temperatura no tiene efecto en el rendimiento de la fotosíntesis pero lo contrario no se cumple. Propuso la ley de

los factores limitantes según la cual, cuando un proceso depende de varios factores, la intensidad del mismo o su velocidad, queda determinada por el factor que se encuentre en menor proporción, hasta que agotado, pasa a ser limitante otro. La consecuencia era que luz y temperatura no son totalmente independientes. Incluso se puede pensar en un orden: 1) luz, y 2) temperatura. Esto implica la sucesión de dos etapas: una en relación con la intensidad de la luz (luminosa) y una segunda enzimática, independiente de la luz y relacionada con la temperatura (oscura). Ciertamente, la etapa que depende la luz y del agua, produce oxígeno y energía en forma de ATP. Las reacciones de la etapa enzimática que tiene que ver con el dióxido de carbono y el agua, y que, tomando la energía de la etapa primera, acaban produciendo carbohidratos.

Las plantas las conocemos, principalmente, como productoras de su propio alimento, mediante la fotosíntesis y capaces de obtener la energía para fabricar su alimento a partir de la luz solar, que es la fuente primaria de energía para todos los ecosistemas de la Tierra. Pero, también pueden servir como fuente de oxígeno y, desde luego, como decoración, pero ahora añaden al largo elenco de utilidades, el que pueden ser fuente de electricidad. Colectando los electrones, que de forma natural son transportados a través de las células de las plantas, los investigadores han logrado generar electricidad que forma parte, por tanto, de las células solares biológicas. Se ha publicado recientemente en ACS Applied Materials & Interfaces, el uso, por primera vez, de plantas suculentas para crear células biosolares vivas, capturando la electricidad asociada a la fotosíntesis.

La fotosíntesis es la denominación del conjunto de reacciones mediante las cuales, la energía solar es transformada en energía química. La energía lumínica activa el transporte de electrones desde las moléculas capaces de darlos a las que los aceptan. Este transporte de electrones genera un gradiente de protones que potencia la producción de la molécula de ATP y la energía se almacena también en forma de coenzima reducida, NADPH. Esta energía es la que posteriormente se emplea en el ciclo de Calvin para producir azúcar y, en general, hidratos de carbono.

En las células vivas, desde las bacterias y hongos, hasta plantas y animales, los electrones forman parte natural de los procesos bioquímicos. Consecuentemente, si se introducen electrodos, las células pueden convertirse en generadores de electricidad susceptible de utilizarse externamente. Ya se han propuesto células de combustible a partir de bacterias, pero los microbios hay que alimentarlos constantemente. Ahora se focaliza la atención directamente en la fotosíntesis. Adir y col. partiendo de que la luz genera un flujo de electrones a partir del agua y finalmente acaba en la producción de oxígeno de hidratos de carbono, lo que significa que las células vivas están produciendo constantemente un flujo de electrones que pueden encauzarse y ser empleados en un circuito externo. Es un proceso idéntico al de las células solares de la captación fotovoltaica, con la única diferencia de que la procedencia es la de las células vivas de las plantas.

Las plantas suculentas se dan en entornos áridos. Su cutícula, que es gruesa, retiene agua y nutrientes. Shlosberg y col. han adoptado la planta suculenta *Corpuscularia lehmannii*, para generar corriente eléctrica a partir de células vivas, empleando la disolución de agua y nutrientes de éstas como solución de electrolito de una célula electroquímica. Es una planta de entre 20 y 30 centímetros de altura, con hojas gruesas que crecen en pares opuestos, de color gris verdoso y con flores amarillas, similares a margaritas de unos 4 centímetros de diámetro. Se le conoce, popularmente, como planta de hielo. Es nativa de Sudáfrica y se propaga por división, esquejes o semillas.

Los investigadores han introducido un ánodo de hierro y un cátodo de platino en las hojas de la planta y obtuvieron una diferencia de potencial de 0,28 V. Conectando un circuito llegaron a obtener una densidad de corriente de hasta 20 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ de corriente continua, expuesta a la luz diurna. Las cifras para la diferencia de potencial y densidad obtenidas son inferiores a las de una batería alcalina, pero excelentes para una hoja solo. Se trata de asociar en serie múltiples hojas para lograr una diferencia de potencial más elevada. También, el proceso implicado en la brioproducción de corriente eléctrica, sugiere que los protones producidos en la disolución interna de las hojas se podrían combinar para producir hidrógeno gas en el cátodo y se podría emplear en otros usos externos.

Se trata de la más genuina energía verde producida hasta la actualidad. La sostenibilidad, desde el punto de vista ambiental, está asegurada y su origen garantiza no ya una imitación de un proceso natural, sino directamente dar uso a una producción natural de energía. Otra cosa es que, en la introducción de uso de forma generalizada, habrá que analizar la supervivencia de las plantas, y como industrializar los equipamientos para que resulten comercialmente apropiados. Hemos desarrollado plantas solares de semiconductores y algo de experiencia tenemos para esta nueva forma de obtener energía que la Naturaleza, en este caso, no solo inspira, sino nos presta para su utilización.



T R A Z O 1 . 1 8

NAVIDADES LUMINOSAS.

El primer signo de que la Navidad se aproxima, aunque de lejos, es la iluminación de calles y plazas. Algunas ciudades han dejado su impronta indeleble en la consideración de su espléndida iluminación. Una denominación como Ciudad de la Luz, otorgada por los ingleses a París, realza que la belleza de sus calles que provocó al iluminarlas y poderlas contemplar también por la noche, incitando a que todo el mundo viajara para contemplar el espectáculo. Algo más que seguridad, animaba la brillantez, claro está. Navidad se ha convertido en un tiempo propicio para la iluminación de ciudades y hogares. Algunas logran relevancia en este tiempo, por su acierto en destacar. Tienen diferentes razones para su explicación, desde la forma de destacar hasta un contenido más profundo y religioso como es asociar el tiempo del nacimiento de Jesús, como un símbolo de la llegada de la luz al mundo. No cabe imaginar una ciudad oscura en tiempos de Navidad. Es un tiempo que evoca momentos de la infancia en la que si algo destaca es que fuimos felices. De hecho, en esta satisfacción habría que encontrar la explicación de por qué cada vez decoramos los hogares antes de lo que corresponde: porque es una forma de alargar, temporalmente, las emociones que nos produce.

La luz es un fenómeno fundamental para el desarrollo de la vida, fuente de inspiración artística y capaz de provocarnos fascinación. El amanecer y la puesta de Sol y los fenómenos en los que la luz es protagonista, desde el arco iris, hasta las auroras boreales y todas las aplicaciones desde los telescopios hasta los rayos láser, nos provocan asombro y admiración. No es de extrañar que desde siempre haya sido una cuestión a descifrar su naturaleza y conocer su intimidad.

Y no es una cuestión de emoción solamente. Los colores de los adornos navideños, parecen brillar más que en otros momentos. Se puede afirmar que cuando llega este tiempo, esperamos que nos inunde un torrente de luz. Probablemente, ahora más que nunca, porque no en vano hemos estado confinados largos periodos de tiempo y parece natural el deseo de disfrutar de alegría y

olvidar dolor y sufrimiento que, quieras que no, todo el mundo que se ha salvado, tiene, en el fondo. Llenar un hogar o una ciudad se asocia a la iluminación. En 1882, Edward Johnson que fue un inventor asociado a Edison, instaló, por vez primera, las luces en Navidad.

Se atribuye a las luces el que provocan una alteración neurológica que conlleva la sensación de felicidad. En el fondo todo aquello ajeno a los hábitos usuales impacta en los sentidos y conlleva liberación de dopamina, que es bien sabido que está asociada a la emoción de la felicidad. Los colores brillantes provocan la liberación de la hormona citada. No es menos cierto que juega un papel la nostalgia emparejada a una época especialmente mágica, que rememora tiempos pasados de inocencia y alegría, juego y satisfacción, libertad y disfrute, que conforman los primeros años de nuestra existencia.

Por otro lado, cabe referir el hecho de que la costumbre de recluirnos en el hogar por razones diversas, desde valoraciones de naturaleza psicológica acerca de la relación con nuestros semejantes, hasta la imposición como la derivada de la pandemia sufrida recientemente, nos impele al cambio. El hogar es el centro de nuestras vidas y bueno es sentirse satisfactoriamente en un espacio propio. Ciertamente, este tipo de cosas, hace que la percepción de felicidad esté asociada a las expectativas, también sociales, de lograrla.

La luz y los colores, están asociados a emociones concretas, como ocurre con la coloración de los alimentos. Pero, no están ajenos en esa percepción los procedimientos tecnológicos empleados para lograrlo. Estructuralmente, nuestros ojos disponen de un mecanismo para congelar la imagen y poder identificar sus ingredientes. El proceso se conoce como movimientos sacádicos, mediante el que la mirada se dirige a un objeto en movimiento y sitúa la imagen objeto de examen, en el área de mayor agudeza visual, la fovea, donde enfocan el objeto a examinar. Aunque de forma imperceptible, acontece este proceso, cada vez que estamos situados en un móvil y nos desplazamos, pretendiendo enfocar la imagen sobre el fondo inmóvil. Ni que decir tiene que, para un correcto enfoque, la velocidad a la que los ojos actúan tiene que

coincidir con la del móvil que nos desplaza. Esto conlleva una servidumbre, porque hoy sabemos que somos capaces de captar más de 2000 destellos por segundo. El proceso es muy similar al que tiene lugar cuando capturamos imágenes con una cámara. Captar velocidades lentas, requiere velocidades de exposición o grabación, fotogramas por segundo, muy elevadas, como es bien sabido. Pero la cuestión es que no es esto solo, dado que tiene consecuencias fisiológicas. La razón es que estamos habituados a una iluminación, eléctrica, que no es la solar natural, fuente continua, sino que la eléctrica tiene una alimentación mediante corriente alterna, lo que implica unos 60 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 60 Hz); en Europa y en la mayor parte del mundo es de 50 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 50 Hz.). Las bombillas están parpadeando a esta velocidad, que resulta imperceptible para el ojo humano. No hay más que recordar que una sucesión de imágenes entre 25 y 30 cuadros por segundo, ya nos da la sensación de continuidad, como ocurre con las grabaciones de video y cine, respectivamente. Como receptor eléctrico que es, una lámpara de incandescencia se comporta como una resistencia óhmica, tanto aplicando corriente continua como corriente alterna, ya que debido a la inercia térmica que tiene en corriente alterna no se produce el efecto estroboscópico. Las lámparas LED tienen otra frecuencia de parpadeo modulado a unos 100 - 120 hercios, con un rectificador de onda completa conectado a una cadena de leds con un resistor conectado en serie para limitar la corriente y, por ende, menos tenue. Las fluorescentes parpadean a razón de unas 100 veces por segundo y al final de la década de los ochenta del siglo pasado, se identificaron consecuencias como disminución de dolores de cabeza al trabajar sometido a un parpadeo menos frecuente.

Ahora bien, los LEDs no tiene persistencia, es decir, cuando se desconecta la alimentación se detiene la emisión. Por ello cuando se conecta directamente a la red de corriente alterna, la LED se encenderá y apagará a razón de 50 veces por minuto, lo que es perceptible por el ojo humano, aunque sea capaz de enfocar y distinguir nítidamente los periodos de luz y de oscuridad. Esto hace que, en muchos casos, se percibe que los LEDs parpadean más que las bombillas convencionales. Por la vía de incrementar la frecuencia de parpadeo, que una imagen nítida y permanente se percibe a una frecuencia de parpadeo de 300 hercios. Algunas LED

que parpadean a razón de 400 hercios resulta perceptible como raro por el ojo y, en gran medida es la razón del rechazo de este tipo de iluminación,

Las iluminaciones de ciudades navideñas que no reparan en esta referencia no resultan cómodas y se pierdes los detalles de la decoración, mejorables, por tanto. En todo caso, unas Navidades iluminadas, forman parte del fondo en el que deseamos desenvolvernos estos días: luz, claridad, esplendor, luminosidad, fulgor, refulgencia, resplandor, ..., para los humanos. Ya, somos así.



TIEMPO DE TRADICIONES: LA MIRRA.

Llegados a final de año, el solsticio de invierno irrumpe en nuestras vidas y nos recuerda que el pasado reclama nuestra atención. Las tradiciones, incluso sin fundamento conocido, son objeto de recuerdo, celebración y gozo. A finales de año, se superponen varias referencias, asociadas a aspectos religiosos y paganos, porque ambos solapan en una competencia permanente por mantenerse en vigor. De la mano de las citas inexcusables, vienen los aspectos simbólicos, que rememoran antiguos usos y costumbres, ancestrales ceremonias e inescrutables creencias. Todos los elementos vienen a tener un contenido entrañable en el que, aunque actualice recuerdos tristes, se sobreponen los elementos que aportan felicidad. Las emociones tienen eso, que dejan de ser de felicidad para tornarse tristeza, con la misma facilidad que lo contrario. Todo es cuestión de empleo. Algún día sabremos algo de ello.

Una de las celebraciones de la Navidad caducante, cuando va finalizando el tiempo de celebración, se dedica en la tradición cristiana a los denominados Reyes Magos. No importa ahora si lo fueron o no, ni siquiera si históricamente se dieron, pero en la tradición vienen cargados de simbolismo. Portaban oro, incienso y mirra que ofrecieron como presentes, a los que no falta carga simbólica, dado que el oro se ofrece a los reyes, el incienso perfuma los templos y su poseedor se supone dedicado a su tutela y la mirra se empleaba en el embalsamamiento y para perfumar a las personas, por tanto, un anuncio en toda regla. Así pues, desde rey a la tumba. Ciertamente, salvo la consideración de aspectos proféticos, encaja esta relación de elementos a posteriori, una vez conocidos los hechos relatados, como nos ocurre ahora a nosotros.

La mirra pretendía dar el carácter como hombre a Dios, dado que ese material se empleaba para embalsamar a los muertos. Era una forma de asumir la vulnerabilidad de Jesús, como premonición de que moriría para salvar al ser humano, como se narra en la Biblia. Melchor ofreció la mirra, al ser hombre Jesús y, por tanto, tendría que morir, además joven, por lo que sería su madre la que podría ungir el cuerpo sin vida llegado el momento. Era el "cuidado último" a los muertos antes del entierro.

La mirra es una gomorresina de un árbol de pequeño tamaño, máximo tres metros de altura, *Commiphora abyssinica*, propio de Arabia, común en medio oriente, así como Somalia, Etiopía, Yemen, Sudán, Arabia y Turquía. Sus hojas son pequeñas e irregulares, estando compuestas por tres hojuelas; presenta inflorescencias de color naranja amarillento, que afloran tras la estación lluviosa. La mirra se obtiene practicando una incisión en la corteza del tronco para dejar fluir una resina de color amarillo que cae en forma de lágrimas rojizas, traslúcidas y brillantes, que cuando se secan adopta formas irregulares y distintas tonalidades, dominando la pardo-rojiza. Dioscórides le atribuyó propiedades abortivas. Hoy día sigue teniendo usos medicinales, como antiséptico, desinfectante, astringente, desodorizante y cicatrizante. Esta resina incluye aceites esenciales, gomas solubles en agua y resinas solubles en alcohol. Hipócrates recomendó la mirra para aliviar los dolores y los romanos la emplearon para tratar las infecciones de la lengua y de los ojos, la tos y las lombrices. En la Santa Cena el vino que se le ofrece a Cristo antes de la crucifixión, contenía mirra.

La revista *Nature* publicó hace tiempo un artículo titulado *Analgesic effects of myrrh*, atribuyendo a los sesquiterpenos integrantes un efecto analgésico. En experimentos llevados a cabo con ratones, Dolara y colaboradores, evidenciaron que dos de los tres sesquiterpenos presentes, identificados mediante resonancia magnética nuclear, siendo el más abundante (> 90%) fue el furanoeu-desma-1,3-dieno, acompañado de otros dos, curzareno and furano-dieno. Ya habían sido identificados, pero no se habían descrito sus efectos biológicos. El efecto de estos sesquiterpenos, resultaba bloqueado por la naxolona, lo que indicaba una interacción con los mecanismos opioides del cerebro. Esto explica el uso en la antigüedad como analgésico, que posteriormente fue abandonado al surgir los derivados opiáceos, también justificado por la presencia en la mirra de otros compuestos con actividad farmacológica poco favorable.

El conocimiento empírico practicado por la humanidad desde siempre, se adelantó al conocimiento de los mecanismos a través de los cuales actúa. Cuando el conocimiento avanza y conocemos los detalles, se modifican los papeles que se le otorgan y se centran los usos desde la eficacia y eficiencia contrastadas. Pero una

cosa siempre parece cierta y es que el uso y la costumbre se basan en realidades detectadas por ensayo y error, con los riesgos que conlleva cuando los efectos adversos adyacentes no se identifican convenientemente. Pero, así hemos avanzado hasta donde nos encontramos. Y en muchos aspectos, seguimos los mismos procedimientos.

Además de sus características analgésicas, en estos días, la referencia es que la mirra, en la antigüedad servía para las ofrendas, sacrificios y embalsamamientos y que en la ofrenda de los reyes Magos, que de haber existido, se les atribuye, implica la referencia con ella a la sangre y el dolor del hombre, lo que, además de pronóstico del porvenir, le convertía en bálsamo para el género humano y que fue lo que debió animar a Baltasar a utilizarla como obsequio en el nacimiento del Mesías, que estos días vamos a celebrar, entre otras cosas.

pensándolo bien...





T R A Z O 1 . 2 0

MOLDEANDO EL MUNDO.

La Ciencia invierte el tiempo en el afloramiento de misterios. En el pasado así ha sido y se ha proyectado al futuro perfilando el entorno en el que se desenvuelve la actividad humana. Los desafíos han sido constantes. Tras la creencia, al final del siglo XIX, de que todo se sabía y solamente faltaban algunos detalles, por cierto, nada más lejos de la realidad, dado que se propició gracias a la genialidad y constancia en el trabajo de Planck, nada menos que el mundo nuevo de la mecánica cuántica, todavía sin liberarse de las sorpresas, surgió Pauli en 1930 reparando que la variabilidad de la energía de las partículas beta, desafiaba los principios básicos de la conservación de la energía y el momento.

Como también suele ocurrir siempre, al descorrer las cortinas de la ignorancia, se desvelan nuevos interrogantes que retan a los científicos. Cuando Pauli formuló la descripción teórica del decaimiento beta, generó otra ambigüedad, al proponer la existencia de una partícula nueva, sin carga y casi sin masa, que podía justificar la conservación de la energía y del momento, aunque pudiera ser imposible de detectar. Postular una partícula que no puede detectarse, es una afrenta a la Física, como el mismo Pauli reconocía. Pero, lo cierto y verdad es que Pauli pasó a formar parte de los científicos que han cambiado el mundo.

Suzie Sheehy considera, en un flamante libro en el que aborda cualquier cuestión de cualquier cosa, que se pueden considerar hasta doce descubrimientos significativos en los veinte siglos que nos contemplan. El mundo se ha ido transformando y hemos ido comprendiendo, cada vez con mayor profundidad, el entorno en el que nos encontramos. La curiosidad y la dedicación a la Ciencia de miles de personas, nos han permitido el avance que ha propiciado nuestro actual horizonte.

Desde los experimentos con los rayos catódicos realizados a finales de siglo, 1895, en Alemania, lo que propició la detección de los rayos X, hasta el descubrimiento de la primera partícula subatómica, a la confirmación del bosón de Higgs en 2012, se construye

un relato del que se puede aprender no solo episodios individuales de éxito, sino la naturaleza íntima de la propia Física. En todos los casos se dan objetivos que los científicos quieren responder y una acumulación de conocimiento, derivado de los descubrimientos con los que se va comprendiendo cada vez mejor el mundo en el que vivimos. Pero, no es menos cierto, que se va modelando el perfil en esa cadena infinita de conocimientos y nunca realizada en su totalidad, que llevan a otros conocimientos y propician el desarrollo de nuevos conocimientos. La espiral del mundo sobre la que cabalgamos al tiempo que nos desenvolvemos.

El mundo, desde la escala individual hasta el macrocosmos. De cuando en cuando, los descubrimientos también propician situaciones negativas en las que las personas emplean los avances contra otras personas. Como si se tratara de diabólicos descubrimientos. El desarrollo de las bombas que destruyeron Hiroshima y Nagasaki, es un excelente ejemplo. Se pone en evidencia la necesidad de desarrollo, paralelamente, de la conciencia social que propicie la cooperación internacional capaz de mitigar los desmanes que, a niveles locales pudieran darse, como así ha ocurrido. Resulta bastante más fructífera la cooperación internacional, como la surgida para el desarrollo del colisionador de hadrones, por ejemplo.

Los retos actuales de la Ciencia requieren la cooperación, no solo científica, sino de los gobiernos que proporcionen los recursos que se requieren y que la sociedad reclama. Desde la naturaleza de la materia oscura, hasta la crisis climática, son retos que enfrentamos como sociedad global. Hay que poner al descubierto los enigmas como el citado de Pauli, que él denominó neutrones y que con el tiempo se identificaron con los neutrinos, ya en 1956. Todo llega al que sabe esperar.

El siglo XX, al completo, ha sido un siglo de avances científicos. Las preguntas irrumpen en su momento, que no necesariamente es el nuestro, La torpeza colectiva, en repetidas ocasiones, ha sido creer que ya estaba todo conseguido. Cada vez que se ha dado la circunstancia, se ha impuesto una severa corrección que suscitó de nuevo la humildad del científico. Hoy no sabemos qué auténticos retos de alcance nos sumergirán en nuevos horizontes.

Las preguntas que puedan ser intratables ahora, no tienen por qué tener que ver con las del futuro. La perseverancia, la curiosidad, que no hay por qué perderla nunca y la colaboración, nos impulsarán para superar los desafíos ahora inconcebibles.

Por otro lado, no necesariamente el reconocimiento viene a colmar el trabajo bien hecho. Hay demasiados ejemplos y contraejemplos que evidencian las ignorancias calculadas con las que se han prodigado los tiempos. No pensemos que son cosas del pasado, acabamos de vivir una bien reciente con el CRISPR, a ver si podemos considerar ponderado el reconocimiento. Las mujeres, históricamente han sido objeto de olvido. No solo las renombradas, sino también otras que han pasado inadvertidas. Lise Meitner es una de ellas. Einstein la llamaba la Marie Curie Alemana. Trabajó sobre la fisión nuclear y se tardó más de 50 años en reconocer su mérito, sin duda enmascarado por Otto Hahn que recibió el Nobel en 1944, por ello. El concepto de cooperación y colaboración requiere severos repasos. En un ser como el humano, gregario por naturaleza, solo le salva la cooperación. Así ha sido siempre y no parece que haya razones para cambiar. Moldear el mundo es tarea de todos. Esto no ha hecho más que comenzar.



pensándolo bien...



TRAZADO 2

ECONOMÍA CIENTÍFICA CIRCULAR

- 2. Introducción. -89-
- 2.1. Guía musical del Universo. -91-
- 2.2. Electrogotas. -95-
- 2.3. El swing del jazz: un misterio no desvelado. -99-
- 2.4. Trigo sin gluten -103-
- 2.5. IA en Química. -1075-
- 2.6. Fomentando la reflexión. -111-
- 2.7. Hidrógeno para la vida. -117-
- 2.8. Residuos como materia prima. -121-
- 2.9. Programación sintética. -125-
- 2.10. Circuitos moleculares. -131-
- 2.11. Trasvases de ideas. -135-
- 2.12. Fotosíntesis altamente eficiente.-141-
- 2.13. Tono menor. -145-
- 2.14. Hipervectores y razonamiento simbólico.-153-
- 2.15. Inteligencia artificial generativa. -161-
- 2.16. Así es,pero solo lo parece.-167-
- 2.17. Dimerización combinatoria.-173-
- 2.18. Algoritmos verdes -179-
- 2.19. Digitalizando la Química. -185-
- 2.20. Espectroscopía de impedancia. -189-

TRAZADO 2

ECONOMÍA CIENTÍFICA CIRCULAR.

La relación entre la Ciencia y la inteligencia artificial (IA) es bidireccional. Así como la IA influye en la Ciencia, la Ciencia también ha jugado un papel crucial en el desarrollo y avance de la IA. Las bases de la IA provienen de disciplinas científicas como la matemática (especialmente la estadística, álgebra y cálculo), la lógica y la teoría de la computación. El entendimiento de cómo funcionan las neuronas en el cerebro ha inspirado modelos computacionales como las redes neuronales, que son una piedra angular en muchos sistemas modernos de IA. Muchos otros campos científicos han incidido de forma determinante en el desarrollo de la IA. La interacción entre la ciencia y la IA es un ciclo de retroalimentación, donde los avances en uno alimentan y mejoran el otro. Es una relación simbiótica que ha llevado a rápidos progresos en ambos campos.

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

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

Una colección de temas variados te esperan.

¡Disfruta! Deleitate pensándolos.

La Inteligencia Artificial (IA) influye en la Ciencia de múltiples maneras, desde optimizar y automatizar procesos hasta abrir completamente nuevas vías de investigación.

La IA continúa evolucionando y su potencial para impulsar avances en diversos campos de la Ciencia es inmenso. Es probable que en las próximas décadas veamos aún más integración de la IA en la investigación científica, facilitando descubrimientos y soluciones a problemas complejos.

No deja de ser curioso el desarrollo que se observa en la actualidad en todos los campos del saber y la tecnología. Durante mucho tiempo se ha gestado un entorno en el que ahora emergen fecundos resultados que, además de aportar nuevas soluciones innovando usos y costumbres, al tiempo refuerzan el surgimiento de nuevas alternativas y formas de profundizar en el conocimiento. Sin duda vivimos en la época más brillante del conocimiento. Otra cosa es que seamos capaces de aprovecharlo.

En estos trazos, recogemos algunos aspectos de los muchos que nos pudieran interesar. La pretensión es interesarte sobre la Ciencia a través de alguno de sus aspectos.

Seguro que lo disfrutarás a tu manera.

T R A Z O 2 . 1

GUÍA MUSICAL DEL UNIVERSO.

A casi todos nos ocurre que lugares, circunstancias o momentos, nos evocan emociones. Viene ocurriendo desde hace mucho tiempo. Conard, de la Universidad de Tuebingen, dató un instrumento en torno a hace unos 40.000-45.000 años. Se supone que se dedicaron a rituales religiosos o recreativos. Otros investigadores refieren que los neardentales, extintos en torno a hace 30.000 años, conocieron la música. Ciertamente, una cuerda tensada produce vibraciones que corresponden a alguna nota musical. En todo caso, una cosa son notas y otra bien distinta es la música.

Los instrumentos más antiguos son tres flautas encontradas en una caverna en el sudeste de Alemania. Tienen una longitud de unos 20 centímetros y están confeccionadas con hueso de ala de buitre y disponen de cinco orificios y dos agujeros en forma de V, situados al final del instrumento, donde se supone que soplaban los ejecutantes. También, se han encontrado fragmentos de otras flautas fabricadas con marfil, seguramente de cuernos de mamuts. Todo parece indicar que la música formaba parte de aspectos de la vida diaria. Todo sugiere la vivencia con elementos creativos, es decir que a los artefactos simbólicos, figurativos y descripciones de figuras mitológicas y aspectos ornamentales, hay que agregar tradiciones musicales. Todo configura una sofisticación de la gente que vivía en esos tiempos. Cabe conjeturar la existencia de redes sociales, incluyendo expansiones territoriales y demográficas que pudieron impulsar un grupo humano moderno sobre uno más conservador y más aislado, como pudieron ser los neardentales. Hay distintos investigadores que así lo mantienen. Seguramente irán apareciendo más evidencias que respalden la evolución de los modernos humanos, incluso desde África, acaecida hace más de 50.000 años. La música está, así, enraizada en la colectividad humana casi desde el principio.

El estudio de la Naturaleza tiene en Pitágoras una referencia histórica a la aportación de la música al escenario del cosmos dado que dos cuerdas de igual características pulsadas simultáneamente producen una armonía.

amente generan notas musicales armónicas y, por tanto, suenan agradables, siempre y cuando las longitudes sean cociente de números enteros. Es más, si el cociente de sus longitudes está en la razón 2:1 se les otorga el mismo nombre y se dice que satisfacen una octava e implica que una oscila el doble que la otra. Otras proporciones como 3:2 o 4:3 también resultan armónicas. La habilidad de Pitágoras para trasladar esta armonía a la Naturaleza y al Universo fue la propuesta de que la relación entre órbitas de planetas u otras cosas naturales se movían de acuerdo con la armonía de las esferas que, de esta forma, se convertía en un principio de funcionamiento del Universo. Astronomía y música resultaban matematizadas y se establecía una relación íntima entre arte y ciencia. Armonía y números eran protagonistas de la mística del cosmos.

El cosmos era más complejo que lo que las primeras conjeturas plasmaban. Veintitrés siglos posteriormente, Kepler examinó la propuesta de Pitágoras y no la encontró razonable, aunque partiendo de las observaciones astronómicas de Tycho Brahe, formuló las leyes del movimiento planetario, referencias inexcusables para que Newton estableciera la ley de gravitación universal. Kepler puso sonido a las órbitas planetarias, transformando las frecuencias de giro planetarias, reduciendo las octavas a las notas correspondientes a situarlas entre 27.100 Hz y 4186,01 Hz, que se corresponden con las notas de la primera nota "la" y la última nota "do" del teclado del piano de 88 registros.

Galileo describió el desplazamiento en función del tiempo de una bola discurriendo por un plano inclinado y empleó su intuición musical para establecer intervalos de tiempo idénticos. Así pudo deducir que el espacio recorrido es proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido. Estableció el concepto de aceleración y concretó la observación como recurso para descubrir las leyes naturales. Agregó al enunciado de Pitágoras de que detrás de los fenómenos de la Naturaleza, hay leyes que los rigen, el que la fórmula para identificar esas leyes es el experimento y las matemáticas permiten describirlos. Pudo estar algo de música tras su experimentación, aunque pudo no ser decisiva. En todo caso, la aceleración establece un ritmo, de indudable sesgo musical. Oros ámbitos de la Ciencia han sido escenarios en los que la música

ca ha jugado un papel ambientador. Nowlands, fue el primero que organizó los elementos de la Tabla Periódica estableciendo la "Ley de las Octavas" que los agrupaba según su masa atómica, aunque no llegó muy lejos, porque no era un principio organizador de alcance. Posteriormente, Mendeleev propuso la organización que hoy está en vigor, partiendo de su masa atómica, su configuración de electrones y sus propiedades químicas. Se atrevió a dejar espacios en blanco, al creer que debía haber una cierta cantidad de elementos superior a la conocida en aquel momento. El análisis de Fourier y los armónicos esféricos guardan en su intimidad la referencia a la armonía encerrada en la formulación mecanocuántica del átomo y de las moléculas y ha sido una herramienta fundamental para analizar las variaciones del fondo cósmico de microondas.

Finalmente, en Stephon Alexander, profesor de física en la Universidad Brown y ganador del American Physical Society Bouchet Award en 2013, tenemos un ejemplo de lo que puede representar la música para un investigador de primer nivel. Alexander es autor del libro *The Jazz of Physics* (El jazz de la física), en el que analiza con distintos enfoques y desde diversos puntos de vista el vínculo entre la música y la estructura del universo. Nos ofrece una fascinante clave para comprender algunos de los enigmas de la física y la cosmología contemporáneas. Tomando en serio la antigua analogía de que, según Pitágoras o Kepler, el universo esconde proporciones armónicas, emplea las nociones de ritmo, armonía, proporción, tonalidad o improvisación para llevarnos desde los inicios del universo hasta la expansión cósmica. La moderna teoría de cuerdas habla de un mundo de subpartículas en continua vibración y los astrónomos sospechan que el macrocosmos se expande y se contrae en ciclos que recuerdan estructuras musicales. Todo un alarde en el que la música es el "ruido de fondo". Muy recomendable un texto que nos conecta con las intimidades más subyugantes del Cosmos en el que vivimos.

La música inspira y subtiende la armonía, también entre la forma de pensar y la forma en que funciona el mundo, como diría Carl Sagan. Las metáforas y analogías son muy valiosas. Sin duda.



T R A Z O 2 . 2

ELECTROGOTAS.

Todo el mundo, mínimamente observador, ha reparado viajando, cuando la lluvia hace acto de presencia, los itinerarios aparentemente erráticos de las gotas de agua que golpean los cristales de las ventanillas y los parabrisas. Las gotas se deslizan caprichosamente, sujetas a fricciones, componentes de energía superficial y, también, efectos electrostáticos. El viento empuja en distintas direcciones en función de la dirección del vehículo, las formas e inclinaciones de los distintos elementos de la carrocería y, como resultado de todo ello, hasta ahora era inaprensible lograr predecir la trayectoria de una gota de agua desplazándose sobre una superficie.

La cuestión es que, hasta ahora, no pasaba de ser un divertimento la observación de la gota por los limpiaparabrisas. Ahora, la cosa es más delicada, por cuanto la conducción automática requiere una identificación sin ambigüedad de los elementos que se sitúan en relación con el vehículo y la exigencia es que la superficie quede limpia de agua con el aire, para garantizar una visión artificial apropiada. En otros ámbitos, conocer y controlar la distribución de las gotas incide en la calidad del producto acabado, como ocurre en la pintura de objetos o garantizar la máxima cobertura del producto líquido aplicado como ocurre en la aplicación de pesticidas.

La interpretación clásica se ha basado en las fuerzas superficiales que condicionan que se formen gotas esféricas o planas y las presiones sobre la superficie son las determinantes del contacto líquido superficie. De hecho, las gotas de agua tienden a minimizar su superficie y de ahí la tendencia a formar gotas esféricas. Las fuerzas de adhesión están en relación con la estructura de la superficie y la tensión del fluido de la gota. Una aplicación de interés se da en las superficies autolimpiantes, basada en el carácter repelente al agua de la doble estructura hidrofóbica, de forma que la superficie de contacto y la fuerza de adhesión se deben reducir para que la autolimpieza tenga lugar. En el fondo, se imita el comportamiento de la epidermis y las ceras que la recubren. En el caso de la

famosa planta de loto, posee una papilas diminutas, de unos 10 a 20 micras de altura y de 10 a 15 micras de anchura, en las que se sitúan las ceras que le otorgan el carácter hidrófobo y le confieren la doble estructura citada. El efecto tiene mucho interés para las plantas por ser un mecanismo de defensa contra los patógenos, bien sean hongos o algas y una forma de evitar la disminución de la producción fotosintética debida a la acumulación de suciedad que dificulta la captura de la radiación lumínica. También lo es para animales como mariposas u otros insectos que no tienen la opción de limpiar todas las partes del cuerpo.

La cuestión es que, recientemente, se ha concluido en que las fuerzas capilares y viscoelásticas no son suficientes para explicar la diferencia de velocidad a las que se mueven las gotas de agua sobre las superficies. Superficies idénticas con recubrimientos idénticos, contemplan velocidades de desplazamiento diferentes. Investigadores del Instituto Max Planck de investigación sobre polímeros, han identificado la incidencia de la fuerza electrostática, advirtiendo que las gotas neutras sobre una superficie de aislante, se cargan eléctricamente y si la superficie es conductora, la gota devuelve su carga a la misma. Los productos agregados a las superficies de los parabrisas, son determinantes para el comportamiento dinámico de las gotas de agua. Hay que tener en cuenta para el agua las fuerzas electrostáticas y no hay que suponerlas neutras, como hasta ahora, porque pueden cargarse, lo que visibiliza el efecto de la fuerza electrostática. Esto hace que el tratamiento en áreas que van desde la impresión hasta los relacionados con la gestión del agua, deben tener en cuenta el carácter electrostático de las gotas que determina diferencias de la velocidad de desplazamiento, que hasta ahora había estado ausente de las consideraciones teóricas del agua sobre superficies.

Las cualidades de autolimpieza de superficies superhidrófobas a escala nanoscópica eran extensiones de la experiencia a nivel microscópico. Al descubrir las propiedades quimicofísicas específicas de la hoja de loto se abrió la posibilidad de emplear el efecto en las superficies artificiales. Una vez más, se imita a la Naturaleza cuando se requieren procesos efectivos. A partir de ese momento se han desarrollado a nivel nanotecnológico tratamientos de recubrimientos, pinturas en materiales de construcción o tejidos

y otras superficies que se pretende mantener secas y limpias imitando los mecanismos de las plantas, como la de loto. Ahora la observación minuciosa del comportamiento de las gotas en las distintas superficies, incorpora argumentos de electricidad estática para una explicación cabal del proceso. La aparente neutralidad el agua mantiene oculta su electroactividad que se pone de manifiesto cuando se observa en su intimidad.

pensándolo bien...





EL SWING DEL JAZZ: UN MISTERIO NO DESVELADO.

El jazz es un género musical con origen en los Estados Unidos a finales del XIX y generalizado en el siglo XX. No es nada fácil delimitarlo. Se usa desde en forma de música ambiental hasta para escucha atenta y concentrada y, en todo caso, hunde sus raíces en aspectos raciales, lo que le ha mantenido siempre en la aureola del debate en el que aflora la cultura afroamericana en contraste con la occidental, lo que modula la percepción que de él se tiene. No es menos cierto que siempre ha estado abierto y expuesto a influencias de otras corrientes musicales lo que modula su percepción. De hecho, la instrumentación, las melodías y la armonía son propias de la tradición musical occidental. En cambio, el ritmo, el fraseo y la producción del sonido y la armonía misma del blues son genuinos de la música africana. Se puede afirmar que el jazz nace de la confrontación de la música de los negros afroamericanos con la tradición musical europea.

En esa confrontación del jazz con la música europea destacan tres elementos diferenciales: a) el armazón rítmico, denominado swing, b) la improvisación y c) el sonido y el fraseo acomodaticio a la personalidad musical del ejecutante. Su origen se sitúa en 1912 y sus raíces se hunden en las retransmisiones deportivas que, como ahora, emplean una jerga, en casos estridente, para reflejar los avatares deportivos, en este caso de los periodistas de la costa Oeste, que en las retransmisiones de la liga de béisbol describían la vitalidad y empuje de los jugadores que concretaban la bola como "pelota jazz", porque temblaba y "no sabías que hacer con ella", según afirman, tenía vida propia. De hecho, una de las entradas en los diccionarios le atribuye el significado de "dar vida, alegría".

La denominación swing proviene de su énfasis en el ritmo fuera de ritmo o ritmo nominalmente más débil. Swing describe la sensación rítmica expansiva que se genera al interpretar la música que se acomoda en movimientos impulsivos de los miembros, incluida la cabeza, por ejemplo. Viene a ser un estilo de jazz que requiere un ámbito orquestal, sin duda por la influencia europea y que implicó el incremento del número de miembros de las bandas

en las que se duplicaron, además, los instrumentos. Es de obligado cumplimiento citar a Louis Armstrong y Duke Ellington, como artífices de la fusión del swing con el jazz.

En el Instituto Max Planck han estudiado con detalle el jazz, buscando la esencia, la clave del jazz, resultando ser, fundamentalmente el swing y describen que el swing de la música jazz radica en la ubicación del tiempo fuerte. La cuestión es que, al ejecutar jazz se genera una desigualdad entre dos notas sucesivas iguales. La longitud que se le otorga a la primera, denominada contratiempo, es un poco larga, mientras que la segunda, poco convencional, es un poco corta. Las notas son corcheas y la longitud exacta que se les atribuye no es posible cuantificarlas, aunque se viene analizando desde hace más de un siglo. Durante mucho tiempo el efecto percibido se atribuyó a una relación entre el bajo y la segunda nota que era la que proporcionaba la sensación del swing. La medida efectuada en el Max Planck ha cuantificado una duración en el rango de 30 milisegundos, que se sitúa muy por debajo del intervalo de percepción consciente de los ejecutantes. En un compás de compasillo, 4/4, los tiempos fuertes son las corcheas impares y los fuera de tiempo son las corcheas pares. El ritmo que se le imprime es consecuencia de retrasos en la sincronización musical.

La concepción del swing consiste en que se genera en una pieza musical cuando las corcheas, que tienen un octavo de duración de una nota negra, no se tocan con la misma duración, sino que se les da longitudes temporales distintas. En la investigación del Max Planck, alteraron digitalmente los tiempos de los solistas en 456 piezas de solos jazz, concluyendo que cuando retrasaban 30 milisegundos (que para un batido de 150 supone como un 9% la duración de una nota negra) las notas en los tiempos uno y tres, los fuertes, que los músicos calificaban con mayor probabilidad a la música como swing. Es de advertir que las desviaciones del tiempo apropiado eran imperceptibles para los músicos de jazz profesionales, lo que revelaba la percepción desde el inconsciente.

Se concluye en que la percepción del swing está asociada al retardo en las notas fuertes y son lo determinante del estilo. Pero la auténtica naturaleza del efecto no se pudo determinar. El misterio permanece, aunque la Ciencia ha aportado elementos para aproxi-

marse a una explicación cabal. Percepciones y emociones tienen sus propios canales, por el momento y seguramente una parte del encanto atribuido, radica en ello.

pensándolo bien...





T R A Z O 2 . 4

TRIGO SIN GLUTEN.

La panificación es la denominación del proceso propio de los diferentes productos horneados como pan, pasteles, pastas, galletas, tartas, etc. La panificación logra una masa que sube fácilmente, al tiempo que es extensible, elástica y con fuerza apropiada para contener el gas liberado por la levadura, que aportan volumen y esponjosidad.

Todos los productos horneados comparten como ingrediente la harina de trigo, fuente, entre otras cosas, de enzimas y constituida por un 70-75 % de almidón, 10 % de proteína, 3 % lípidos, 2 % de otros carbohidratos y un 10-15% de humedad, siendo el almidón el componente más importante de la panificación. Está compuesto por dos tipos de polímeros: amilosa y amilopectina. La primera es un polímero lineal, mientras que la amilopectina es más compleja. La proporción de ambos componentes es determinante de las características de las harinas. Por otro lado, la componente proteica de la harina incluye las glandinas y gluteninas, de cuya interacción se origina el gluten que aporta las características viscoelásticas al pan. Hay otros componentes minoritarios en la harina de trigo, en torno a un 2%, que inciden en las características de sus productos derivados: arabinoxilanos, beta-glucanos, celulosa, arabinoglucanos, xyloglucanos, galactomannanos, etc. Su principal aportación es la capacidad de absorción de agua y actuar de nexo entre el almidón y el gluten. La presencia de estos componentes en gran cantidad repercute en el exceso de viscosidad de la masa.

La calidad de los productos de panificación se ha visto mejorada por la incorporación de enzimas como: amilasas, hemicelulasas, proteasas, oxidasas y lipasas con distintos efectos en el volumen y duración del frescor que, en otro tiempo, se lograba añadiendo malta de trigo o cebada, aunque repercutía en la modificación del gluten por la interacción de la proteasa, dado que la alfa amilasa es termoestable y activa al superar la temperatura de gelatinización del almidón. Incremento del volumen de la barra de pan, mejor capacidad de retención de gas, mayor suavidad de la miga y un

color más atractivo de la corteza y un aspecto de mayor frescura son las mejoras logradas de esta forma.

El pan horneado tiene una textura muy atractiva, aportada por el gluten, constituido por gliadina y glutenina, que aportan a las masas la textura perfecta, ya que la primera confiere la viscosidad y la plasticidad a las masas, mientras que la glutenina aporta la elasticidad. Gran cantidad de cereales contienen gluten: Trigo, Centeno, Espelta, Cebada, Grano de espelta verde, Escanda menor, Centeno blanco, Kamut, Triticale y Avena. Otros cereales no contienen Gluten, como Arroz, Trigo sarraceno o alforfón, Amaranto, Quinoa, Maíz o Mijo. Algunos de los cereales se certifican sin gluten, tras la manipulación pertinente.

El gluten posibilita que la harina forme una masa pegajosa al combinarse con agua, aportando elasticidad y que la masa se mantenga ligada y cuando se hornea genera texturas crujientes, pero manteniendo la esponjosidad. La cuestión es que las personas que sufren un trastorno inmunitario grave como es la celiaquía se ven sometidas a ataques del gluten en el intestino delgado o intolerancia a aquél, en función de la gravedad de la dolencia. Naturalmente, una solución es sustituir la harina, usualmente de trigo, por otro cereal, como el arroz que no lo contienen, a costa de perder las características organolépticas propias del pan de trigo.

Recientemente se ha logrado mediante ingeniería genética reducir la cantidad de gluten, manteniendo otras proteínas responsables tanto de sabor como de la elasticidad genuina de los productos horneados constituidos por harina de trigo. El tema no es nada obvio, por cuanto se mantiene en pleno vigor el debate sobre los alimentos confeccionados con productos modificados genéticamente. La cuestión se centra en la inserción de ADN de una especie distinta de la que es objeto de cultivo. Ahora, hay una opción diferente que permite soslayar esta manipulación usando la técnica CRISPR/Cas9 que logra objetivos similares, pero efectuando cortes y traslaciones de determinados genes, en este caso en el trigo. Se han llevado a cabo experimentos consistentes en la creación de fragmentos que dirigen a la proteína Cas9 para cortar 35 de los 45 genes de la gliadina alfa. El resultado es que la disminución de la negativa respuesta inmunitaria se ha cuantificado en un 85%. Un

producto muy prometedor que deberá sufrir el paso por las caute-
las apropiadas antes de ser comercializado. Abre una vía para la
modificación de un cultivo que, no alterando las propiedades orga-
nolépticas, soslaye los inconvenientes de la repercusión negativa
en el sistema inmunitario. Una cosa es la investigación y otra, bien
diferente la legalización. En todo caso una vía y una esperanza
para los que padecen la dolencia, que se estima en un 1% de la
población española, aunque la gran mayoría aún no sabe que lo
son. Una esperanza, caso de certificarse, que soslaya las dificulta-
des sobrevenidas a las dietas sin gluten.

pensándolo bien...





IA EN QUÍMICA.

Cada vez hay menos duda sobre la extensión en la que la Inteligencia Artificial (IA) será capaz de penetrar. Desde la conducción a la medicina, pasando por profesores e incluso poetas, parece que son objetivos a aproximar, cada vez con perfiles más refinados. Muchos se aferran a la posición de que la intuición humana es demasiado especializada como para que la IA sea capaz de suplirla. Hoy, todavía es así, pero nada parece indicar que siga siéndolo en un futuro no demasiado lejano.

Los algoritmos de aprendizaje de las máquinas que manejan cantidades extraordinarias de datos y establecen patrones y correlaciones de mucho alcance, hoy los entrevemos como asistentes cualificados más que como sustitutos de las capacidades humanas. No obstante, ya hoy, acoplados estos sistemas a dispositivos robóticos, no solo analizan los datos, sino que son capaces de llevar a cabo experimentos, con la capacidad consiguiente de mejorar mediante la iteración y formular hipótesis razonables de mejora y de comprobaciones de la bondad de los procesos.

Un área con unas connotaciones especialmente de interés para la IA, es la Química. El campo de la síntesis química implica un universo en el que el método central es prueba y error y, en gran medida, el itinerario sintético se recorre de forma repetitiva. La tecnología de microfluidos permite abordar desde la robótica la química húmeda. Ya se han efectuado aproximaciones en este sentido. Muchas técnicas analíticas, como la cristalografía se han automatizado en gran medida. Pese a ello es muy simplista inducir a partir de estos intentos el final de la "química humana". Es de prever un desplazamiento, soslayando las tareas repetitivas, aburridas y tediosas. Esto supone una mejor disposición para las tareas creativas. La cuestión relevante es responder al interrogante de si la IA podría cambiar la Química conceptualmente. Todos los avances han venido acompañados de cambios metodológicos, configurando marcos conceptuales nuevos. En el siglo XVIII se focalizó la composición elemental de los compuestos químicos, de la mano de las mejoras instrumentales. En el siglo XIX se introdujo la estructura

molecular y se derivaron mejoras en la separación y purificación de los compuestos. La irrupción de la teoría cuántica y las técnicas espectroscópicas indujo desde principios del siglo XX la comprensión del enlace químico. Láseres, haces moleculares y química ultrarápida, que emergen a finales del siglo XX permitieron sumergirse en la dinámica de las reacciones químicas, con el detalle y la opción de la observación en interactivo. El interrogante a formular es sobre la incidencia que tendrá la IA en la Química en el siglo XXI. Emerge el interrogante sobre cómo será el reparto de tareas y cuáles serán las habilidades exigidas a un químico cuando la actividad de síntesis química, por ejemplo, se supla mediante los métodos de la microfluídica y otros. Es posible conjeturar que se mantendrá el escalado implícito en la puesta en marcha de plantas pilotos, que no parece que se pueda soslayar su carácter manual. Otros procesos pueden conjeturarse que son especialmente aptos para la automatización.

La concepción de la IA como asistente de la investigación es mayoritaria. Se configura como un pilar nuevo de la Química, tanto en la esfera del experimento, como en la teoría y la computación. Contribuye a una mejor comprensión y control de las propiedades de los compuestos y los procesos químicos. Como todas las tecnologías, la IA abre nuevas perspectivas. El advenimiento de la espectroscopía de RMN emergió como técnica de rutina para caracterizar moléculas complejas que se pudieron examinar y observar su participación en las reacciones. Es previsible que la IA traiga de la mano un cambio de paradigma y haga más asequible el abordaje de procesos más complejos. Potencialmente, la IA puede explorar el espacio de reacción más rápidamente y potencialmente mejor que el investigador humano. Se hacen esfuerzos para mantener que los químicos deben permanecer al frente de la conceptualización, la abstracción y la orientación y dirección de los problemas de investigación. Para otros muchos la IA sobrepasará la "expertise" de los químicos con el tiempo, aunque tenga que pasar mucho todavía. En todo caso, siempre será una herramienta enriquecedora para los químicos, pensando que los humanos seguirán decidiendo qué problemas abordar y cuando o como se atienden.

Es de suponer que un beneficio adicional estará asociado a la mejora por parte de los químicos de los aspectos sistemáticos en

las tareas de evaluación. La utilización de la optimización bayesiana que fija las expectativas de la mejor solución y de forma automática, se actualizan mediante sistemas automáticos que exploran las condiciones de la reacción, por ejemplo. La IA es capaz de identificar las condiciones de reacción óptimas, que no tienen por qué coincidir con las usualmente empleadas con anterioridad.

Se ha vertido mucha literatura sobre la capacidad de la IA de disponer una comprensión heurística. La Química siempre se ha distinguido por abordar problemas complejos y, en ocasiones, es fácil confundir datos con conceptos y utilizar reglas intuitivas para digerir conceptos como el de enlace químico, pongamos como paso paradigmático. Otros ejemplos se pueden concretar en el radio atómico o los estados de oxidación o las escalas de electronegatividad. La forma de operar la IA "trititando" datos masivos, basa su acción en la disposición del conocimiento publicado, accesible en Internet, Los procedimientos heurísticos son vías para reducir los datos de alta dimensionalidad a parámetros de baja dimensión, de forma que se logren representaciones con números sencillos, como ocurre, por ejemplo, con la electronegatividad. En este escenario, la IA es muy útil, incluso cualificando las limitaciones de este tipo de reducción. El aprendizaje de máquinas es una tecnología capaz de encontrar preferencias a la hora de formar enlaces y determinar las energías de formación de las estructuras moleculares. Es de esperar que la IA enriquezca la comprensión de los fenómenos y procesos químicos y contribuyan a la identificación de los aspectos fundamentales del comportamiento químico.

La asistencia de la IA también radica en la habilidad por nuestra parte de extraer la intimidad desarrollando algoritmos que se puedan explicar y que sean capaces de transmitir una justificación cualitativa de sus conclusiones. Es lo que se demanda de la IA general, ya que se pretende saber no solo el diagnóstico sino una explicación para resolverlo. Es de esperar que llegará el momento en que las máquinas podrán generar hipótesis que podrán explicar a los humanos. Este entorno será propicio para que se puedan identificar nuevos patrones y generar nuevas abstracciones a partir de ello. Cabe esperar que se identificarán posibilidades hoy insospechadas, independientemente de las dificultades de llevar a cabo los experimentos en los laboratorios que requerirán nuevas meto-

dologías de síntesis química de las que pueden emerger nuevos materiales.

Lo mejor para atribuir al futuro hay que inventárselo, no es por nada, sino solo porque para responder al interrogante, hay que sumergirse en el ámbito de la conjetura. Aun así, se entrevé que por analogía a lo que está ocurriendo en otros campos, si la IA encuentra estrategias o conceptos que triunfaren, no solo aprenderemos de ellos, sino que la apreciaremos también estéticamente. Se vislumbra un excelente complemento de las habilidades químicas y una forma de mejorar la comprensión de la Química.



FOMENTANDO LA REFLEXIÓN.

La pretensión, de siempre, ha sido construir máquinas que, a imagen y semejanza del hombre, desarrollen tareas cada vez más especializadas. En el pasado se trataba de imitaciones burdas, con poco alcance. El lenguaje de inteligencia artificial (IA), más antiguo en pie, data de los años cincuenta del siglo pasado. Una vez disponible Internet, se dispone no solo de la herramienta, sino de los suficientes datos como para entrenar los sistemas que se iniciaron como expertos y se han mejorado para responder certeramente con todo lo aprendido en más de sesenta años de trabajo e investigación.

Si nos sumergimos en el mundo de los desarrollos de IA, contabilizaremos más de doscientos de muy altas prestaciones. Todos tienen en común que tratan muy profesionalmente el lenguaje natural, buena parte de ellos escriben correctamente, en cualquier idioma, pretenden ayudar a los escritores a soslayar los bloqueos, propios de la actividad. Unos emplean modelos ya entrenados, otros desarrollan los modelos a medida, otros emplean la voz y un largo etcétera. El mundo de las finanzas, el de la empresa, las agencias de contratación y, en general, los negocios, ha sido objeto de atención preferente, sin más, porque ofrecen atractivos para simplificar, en todos los órdenes, el trabajo y el coste. La canción es conocida. Entre otros: inConcert Conversational Bot, Writesonic, Jasper, Google Cloud, ArcGIS Sense, Datadog, Docebo, DeepL Pro, son algunos de los mejor calificados

Vamos a prestar atención a uno de ellos, Chat GPT (transformador generativo preentrenado), un modelo de "deep learning" (aprendizaje profundo), que emplea algoritmos capaces de reconocer patrones en los datos y tiene capacidad de aprender mediante ejemplos. Así pues, se considera como una red neuronal artificial con memoria a largo plazo. Es un modelo de procesamiento del lenguaje, de propósito general, que no fue entrenado explícitamente para ningún tipo de tarea de procesamiento del lenguaje, por tanto, cualquier caso de procesamiento del lenguaje natural es admisible. La versión de GPT 3, está preentrenado empleando cinco conjuntos de datos: Common Crawl (petabytes de datos de páginas web,

recopilados durante ocho años, según sus creadores), WebText2 (un corpus interno de la empresa creadora, OpenAI, empleando "web scraping" de alta calidad, que es una técnica que emplea programas para extraer información de sitios web, lo que se materializa simulando navegación de un humano en Internet ya sea utilizando el protocolo HTTP manualmente, o incrustando un navegador en una aplicación. También emplea Books1 & Books2, que son colecciones de textos de decenas de miles de libros sobre los temas más diversos y, como no, Wikipedia que incluye 6.358.805 artículos en inglés y 1 839 528 artículos, anexos y categorías en español. Diariamente, se crean más de 400 artículos, lo que hace un total de alrededor de 12 000 cada mes. La base de datos que contiene la última versión de todos y cada uno de ellos, ocupa en torno a los 3 gibibytes sin comprimir. Este corpus incluye en total casi mil millones de palabras, por lo que el GPT-3 puede realizar en su aplicación gran cantidad de tareas en lenguaje natural sin necesidad de extensiones.

Una nueva herramienta potencial para la formación, que bien pudiera emplearse como entrenador, soporte de consulta e introductor de conocimientos, a poco que se emplee con estrategias apropiadas para aportar rendimiento formativo. No es la primera vez que nos enfrentamos a herramientas de este estilo. En la década de los sesenta el proyecto PLATO de Control Data, pretendió introducir la enseñanza asistida por ordenador, sin éxito, pese a la enorme envergadura e inversión que realizaron. No se disponía ni siquiera de pantallas de ordenador, con lo que el proceso era muy dificultoso. En los años ochenta, la enseñanza asistida por ordenador, el "drill and practice", la simulación y los juegos, fueron herramientas educativas de primer nivel. Nunca se dispuso de suficientes herramientas para que su uso fuera generalizado. Ahora, con el cuerpo de conocimiento que aporta una herramienta como CHAT GPT, la asistencia al aprendizaje puede considerarse que va adquiriendo el nivel deseado.

En tiempo pasado, ya se concluía que la estrategia para el uso de medios individualizados y automáticos era determinante. Utilizar el ordenador en la enseñanza, sustituyendo los métodos convencionales, lo único que garantizaba era que resultaba más caro, sin necesariamente obtener mejores resultados, Vuelve a

repetirse la jugada. Si se piden redacciones a los alumnos y tienen la opción de usar Chat GPT, sin más, simplemente contestarán con facilidad, copiando directamente las respuestas de Chat GPT. Las alertas que se formulan hoy advirtiendo de ésto son muy similares a las que se daban en los años ochenta en el primer escenario de aproximación de los ordenadores a los sistemas educativos. Nada nuevo. Como entonces, se hizo bien poco para establecer estrategias diferentes a las usuales, convencionales, al ahora poder estar determinadas por la inclusión del ordenador en el proceso, poco se avanzó entonces, que no fuera el concurso de las máquinas para calcular y poco más. Poco se desarrollaron las metodologías para implementar simuladores que con su construcción los alumnos tuvieran que conocer la intimidad de los procesos que tenían que diseñar. La escasa preparación del profesorado en ello, contribuyó a descartar usos ventajosos de las tecnologías. Prácticamente, todo el mundo se limitó a ser usuario.

Ahora, una herramienta como Chat GPT, se puede usar por los alumnos para resolver dudas, incentivar la indagación a partir de las respuestas, incluso a entrenarse en las respuestas de potenciales exámenes. Un profesor puede emplearlo en el nivel de planificación de las clases o intentar exámenes y generar casos prácticos a desarrollar en el aula. El uso es determinante, como siempre. Al igual que en otro tiempo, hay ámbitos inmovilistas que rechazan su uso. De nuevo puede que no seamos capaces de ver que el futuro de los actuales jóvenes es otro diferente del que hemos vivido los que vamos delante.

Los norteamericanos, algunos, en realidad unos pocos, que alientan que se busquen formas y maneras de soslayar la tecnología, hoy focalizan inteligencia artificial y andan impulsado que se desarrollen programas para detectar el uso de Chat GPT, como ha difundido la prensa hace bien poco. Por un lado, es una propaganda gratuita que reconoce la calidad de la herramienta al convertirla en temible. Si es preciso desarrollar una herramienta para detectar su uso, es que potencialmente tiene nivel como para preocupar. O en realidad para ocupar a los que sitúan la formación y el aprendizaje en el horizonte de sus objetivos.

Hace tiempo que estudio Chat GPT y algunas conclusiones me parecen de interés. Asumiendo el uso de la herramienta, se puede minimizar, en gran medida, elaborar texto sin esfuerzo. Si se incorporan las capturas del proceso seguido, obligadamente, deja de existir la ventaja oculta de su uso. Redactar textos usando Chat GPT requiere familiarizarse con los comandos para obtener resultado óptimo. Con los textos encontrados, hay que inducir la labor de la verificación y la investigación, de forma que se amplíen y profundicen en los conocimientos nuevos que se incorporan. Naturalmente, que no se trata de hacer lo mismo que se hacía antes sin la herramienta. Es que se trata de otro mundo, otro nivel, otra exigencia, otro estado de información. Ahora, el profesor debe estar a la altura de las circunstancias que le obliga la herramienta. Consultar, buscar, preguntar, es lo propio cuando se dispone de datos como ocurre en la actualidad. Es preciso capacitar a los jóvenes para que manejen los comandos y las formas y maneras de obtener las respuestas apropiadas. La fase posterior de apropiación del texto, verificación, investigación, ampliación y profundización se evidencian aportando las capturas y las preguntas formuladas con la respuesta de Chat GPT y aportar el texto que se haya completado. Se fomenta la verificación y la profundización, que es una faceta imprescindible para la interiorización de los conocimientos.

Pero, como siempre, no solo aprende el alumno, los docentes pueden aprovechar el viaje. La interrogación a Chat GPT puede sugerirnos analogías para introducir los conocimientos, ejemplos para suavizar aspectos complicados, planificar simulaciones o indicar ejemplos o las formas apropiadas para introducir un concepto, dadas las características del caso. El profesor conoce el entorno educativo en el que se mueve, objetivo y subjetivo de sus alumnos y de cada uno de ellos. Las preguntas se pueden acomodar al ámbito personal de cada uno de ellos. El entrenamiento en el uso de la herramienta deberá capacitar a cada uno para formular las preguntas adecuadas.

Una herramienta como Chat GPT permite diseñar mecanismos para tomar decisiones, itinerarios de interrogantes que se pueden analizar colectivamente para identificar la mejor forma de

actuar, la mejor estrategia para resolver un problema. Tomar decisiones en cualquier ámbito disciplinar es una tarea de primer nivel; tanto en disciplinas teóricas para obtener las soluciones óptimas, como en ámbitos conductuales en que las consecuencias pueden tener mucha importancia. Las afirmaciones se pueden contrastar con las respuestas de Chat GPT e ir perfilando el itinerario de resolución del problema. Las capacidades de cálculo de Chat GPT permiten acometer cuestiones cuantitativas de cualquier envergadura, sin limitaciones restrictivas.

Evidentemente, la herramienta se presta a la realización de exámenes. Como docente podemos ensayar previamente que tipo de preguntas hay que incluir preguntando a la herramienta que nos sugiera interrogantes o facetas de interés. Probablemente el mejor examen consiste en pedir al alumno que formule él las preguntas. Es una forma directa de deducir sus conocimientos, su capacidad para identificar los aspectos de interés, su astucia para detectar los aspectos importantes. Dado que la capacidad de búsqueda de materiales no está limitada en Chat GPT, se pueden buscar con antelación los materiales de interés para reflexionar o inducir la reflexión sobre aspectos de interés.

Chat GPT no reduce nada, sino que asiste, complementa, potencia aspectos, soslayando la búsqueda sin capacidad de discriminación por la red, que no garantiza que se identifiquen los aspectos de interés. No se puede adscribir a herramientas como Chat GPT fomentar un entorno más desentendido con el trabajo y mermado de capacidades formativas, sino, al contrario, una herramienta con posibilidades reales de fomentar el análisis, la interpretación y la validación de los conocimientos. Son habilidades deseadas y que se antoja que en este tiempo son imprescindibles. La clave, como tantas otras veces, radica en los profesionales y la exigencia de que preparen a los jóvenes para los retos actuales y futuros.



T R A Z O 2 . 7

HIDRÓGENO PARA LA VIDA.

Uno de los problemas serios relacionado con la energía es la dificultad de almacenamiento, para ordenar la distribución y acomodarse a la demanda, tanto colectiva como individualmente. Las energías renovables no son una excepción, sino muy al contrario, uno de los mayores exponentes del problema. La intermitencia del viento o del Sol hacen impredecible la eficacia e imponen una producción diversificada de fuentes de energía que puedan suplir las vigiliadas de otras. El almacenamiento a gran escala es todavía un tópico lejos de lograr.

Los modos de almacenamiento operativos hasta el momento se sumergen en propuestas más audaces que abarcan el hidroeléctrico tradicional cuya eficiencia ronda en torno al 70-85%, aunque con impacto ambiental evidente y dependiente de la disponibilidad geográfica. La versión moderna son las denominadas lagos artificiales o islas de energía creando diques que cerquen una superficie amplia en el océano. La energía se produce al incorporar el agua al interior del dique y la energía sobrante se emplea en bombear agua fuera de aquel. Se refieren potencias de 1500 MW en unas 12 horas. El aire comprimido es otra alternativa operativa en Alemania y Estados Unidos; se comprime aire y se bombea en zonas subterráneas, pero el aire al comprimirlo se calienta y esta energía se pierde en las paredes de la cueva. Una mejora que se sugiere es usar este calor para calentar aire y actuar sobre turbinas. Se estima una eficiencia en torno al 80%.

Las baterías son la gran asignatura pendiente de los sistemas electroquímicos. Las de iones Litio propias de los móviles implican cientos de euros por kilovatio hora. No está nada clara la acomodación a gran escala, por motivos de seguridad. Se buscan otras alternativas basadas en elementos más económicos como silicio hierro o aluminio. La alternativa de almacenamiento cinético como un volante de inercia que gira a gran velocidad a partir de la energía sobrante al alimentar un motor y se extrae la energía mediante un generador acoplado. No está clara la escalabilidad y requiere soportes magnéticos y una cámara sellada al vacío. Se

proponen eficiencias en torno al 85%. Una propuesta muy reciente es el empleo de ultracondensadores o bobinas superconductoras para almacenar corriente indefinidamente.

Son todas propuestas audaces cuya ingeniería es plausible en la actualidad. Siempre cabe dotar de inteligencia a las redes de forma que responda a la demanda con acciones que ponderen la disponibilidad, apelando a recortes selectivos en dispositivos domésticos imperceptibles, pero capaces de reducir sensiblemente la demanda y ajustada a los límites determinantes. Naturalmente que los sistemas propuestos tienen cabida en una gestión inteligente actuando a nivel global e integrando recursos, demandas y comunidades de consumo. Las tecnologías inteligentes tienen posibilidad de acometer proyectos de esta envergadura.

El otro gran capítulo, agazapado y esperando su momento crítico, incluye el almacenamiento del Hidrógeno. Almacenar el exceso de producción, el transporte desde el punto de producción al de consumo, son retos con características propias. Los sistemas estacionarios de almacenamiento tienen aplicaciones tanto residenciales como industriales. El uso en automoción impone restricciones de autonomía. El automóvil es una auténtica locomotora y propicia la mayor parte de las propuestas actuales en lo relacionado con las tecnologías emergentes del hidrógeno y las pilas de combustible. El hidrógeno es inflamable, no tóxico, incoloro, inodoro e insípido y la seguridad es el principal limitante de su uso efectivo. Se puede almacenar a presión, en forma líquida, a través de hidruros metálicos, en lechos de carbón, nanofibras, fullerenos, en otras formas de compuestos químicos, como tolueno o amoníaco, en microesferas de vidrio o en zeolitas. Las primeras están operativas y el resto en investigación.

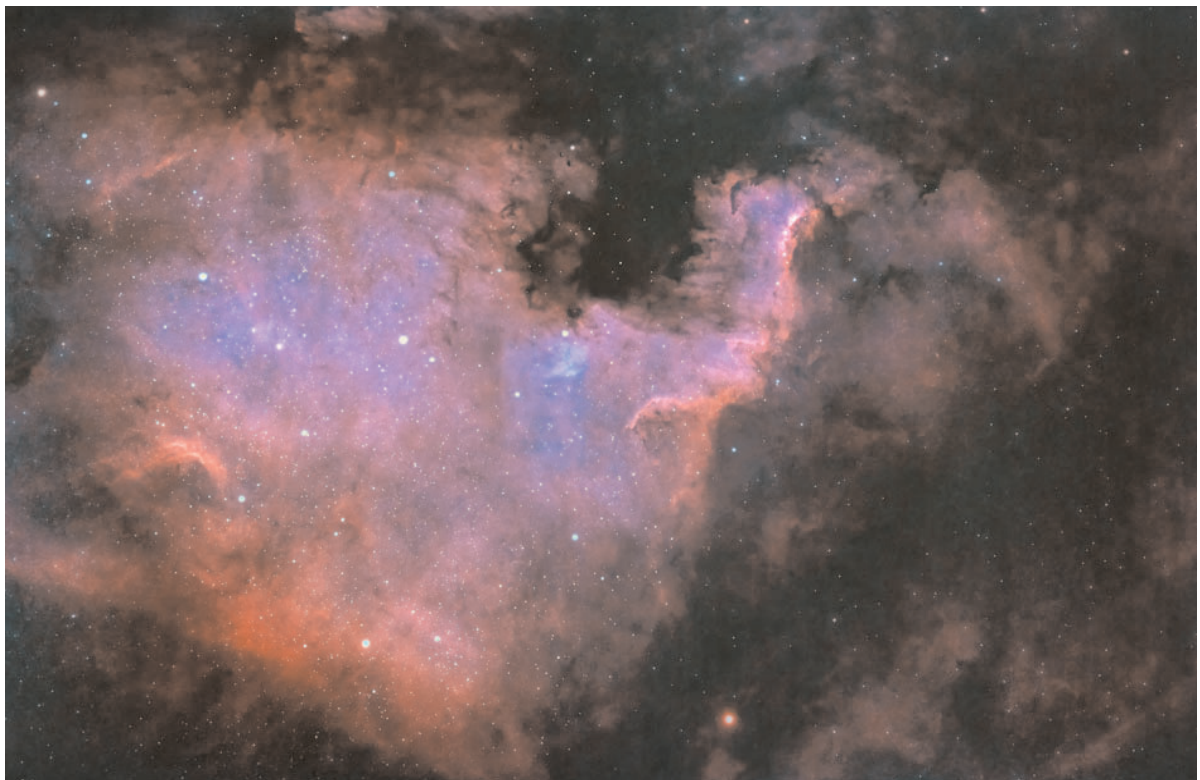
Ahora se propone almacenar hidrógeno en sales y en presencia de aminoácidos. Hasta ahora el almacenamiento en sales sólidas era interesante para el transporte y la manipulación, pero se requerían catalizadores de metales preciosos y no se evitaba la producción de dióxido de carbono. Junge y col. han desarrollado un sistema que libera sales carbonatadas y bicarbonatadas y emplea como catalizador el manganeso, que es metálico pero disponible. Transforman el bicarbonato en formiato, proceso eficaz empleando

sales de potasio, manganeso como catalizador y un aminoácido, la lisina que actuaba como promotor, reaccionando con el dióxido de carbono para capturarlo y requiere una temperatura inferior a 95 grados. Obtuvieron rendimientos en torno al 80% con una pureza de 99%. Han ensayado también sales de carbonato y ácido glutámico alcanzando rendimientos de hidrógeno en torno al 94%. Es posible que el escalado sea factible con mayor facilidad que las propuestas anteriores.

Mientras no se encuentra una propuesta razonable, segura, estable, económica, sostenible, en suma, todos los intentos son pocos. La mezcla de intereses económicos y problemas vitales son mala mezcla en unos momentos en que los intereses creados son numerosos y potentes. Hay que confiar en que veremos la luz entre tanta neblina y podamos encontrar un sistema eficaz al tiempo que sostenible. Es una necesidad.

pensándolo bien...





RESIDUOS COMO MATERIA PRIMA.

De la cáscara de mandarina se puede obtener un producto químico llamado hesperidina, que es un flavonoide presente en los cítricos y que se utiliza en la industria alimentaria y farmacéutica como antioxidante y agente colorante. La hesperidina es un pigmento amarillo-amarillo claro, que se encuentra en el bagazo de los cítricos, naranja y mandarina y se utiliza como colorante natural en alimentos, bebidas y productos farmacéuticos. Además, también se ha demostrado que la hesperidina tiene propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y se utiliza como ingrediente en suplementos nutricionales y productos para el cuidado de la piel. Es importante destacar que la cantidad de hesperidina que se puede obtener de la cáscara de mandarina es relativamente baja, por lo que su uso como colorante puede ser limitado. Sin embargo, se están investigando otros métodos para obtener y utilizar la hesperidina de manera más efectiva, y se han desarrollado técnicas para su producción a partir de otros residuos de cítricos, como las semillas de mandarina. Profesores de la Universidad de Murcia muy cualificados pusieron en marcha la producción de hesperidina.

La cantidad de productos químicos que se pueden obtener de residuos depende del tipo de residuo y del proceso de conversión utilizado. Los residuos pueden ser de diferentes tipos, como residuos agrícolas, residuos forestales, residuos urbanos, residuos industriales, entre otros, y cada uno de ellos puede contener diferentes componentes químicos.

Algunos ejemplos de productos químicos que se pueden obtener a partir de residuos incluyen biocombustibles líquidos y gaseosos, productos químicos de base biológica, como ácidos orgánicos y biopolímeros, productos químicos de valor agregado, como colorantes, antioxidantes y aromatizantes, y materiales de construcción y productos farmacéuticos.

En los últimos años, ha habido un creciente interés en la utilización de residuos como fuente de productos químicos y materiales en lugar de utilizar fuentes fósiles. Este enfoque, conocido como

"economía circular", se centra en la minimización de los residuos y la maximización del valor de los recursos mediante su reutilización, reciclaje y recuperación de energía. En suma, se han desarrollado muchas tecnologías y procesos para convertir residuos en productos químicos de valor agregado y materiales útiles.

La estructura de la lignina no contiene la estructura de la vainillina. Aunque tanto la lignina como la vainillina son compuestos orgánicos y contienen grupos fenólicos, son moléculas diferentes con estructuras químicas distintas. La lignina es un polímero tridimensional complejo que se encuentra en la pared celular de las plantas y está compuesto principalmente por unidades de tres monómeros diferentes: p-cumaril alcohol, coniferyl alcohol y sinapil alcohol. Estas unidades se unen mediante enlaces covalentes para formar una estructura tridimensional fuerte y resistente. Por otro lado, la vainillina es un compuesto aromático simple que se encuentra en la vaina de la planta de vainilla y se utiliza como saborizante y aroma en alimentos y productos de cuidado personal. La estructura química de la vainillina es un derivado del fenol y contiene un anillo aromático con un grupo metoxi (-OCH₃) y un grupo aldehído (-CHO) en posiciones específicas. Producir vanilina a partir de la lignina, como mencioné anteriormente, esto implica la ruptura de la estructura compleja de la lignina y la conversión de algunos de sus componentes en vanilina mediante procesos químicos específicos y así obtener un agente aromatizante

Se propone la obtención de vainillina a partir de lignina técnica producida a partir de pasta de papel. En la producción de pasta se forman enormes cantidades de lignina técnica o Kraft que es difícil de procesar, y suele incinerarse para aprovecharla como productora de calor. Un equipo de investigadores, según publica la revista *Angewandte Chemie*, ha conseguido desarrollar un método ecológico para recuperar la vainillina. Solo se requiere energía y calor.

En la actualidad, para la obtención industrial de vainillina se utiliza lignosulfonato, sustancia que se obtiene en algunos métodos de fabricación de papel. Cuando se fabrica papel a partir de madera, la lignina hay que eliminarla, entre otras cosas por conferir un color marrón. En la obtención industrial de papel mediante el méto-

do Kraft el residuo no es ligninosulfonato, sino una lignina que se denomina Kraft, mucho mas difícil de oxidar y muy complicada de descomponer en monómeros, por lo que se desecha, quemándola como combustible.

Siegfried Waldvogel y un equipo de investigadores de la Universidad de Maguncia (Alemania) proponen un método para producir vainillina utilizando como materia prima la lignina Kraft. Partieron de la producción de un oxidante a partir de empleando un electrodo de diamante dopado con boro con lo que se lograba una oxidación fácil de los carbonatos a peroxicarbonato. y era un oxidante lo suficientemente fuerte para degradar la lignina Kraft, con la ventaja adicional de que ni se utilizan ni se obtienen sustancias perniciosas para el Medio Ambiente.

Por otro lado, al igual que en otros casos anteriores, la vainillina es una aromatizante muy demandado, que forma parte de muchos productos de uso y consumo usuales, como chocolates y perfumes. Por otro lado hay muchos productos farmacéuticos que lo emplean y el consumo anual es muy elevado y según algunos informes, la demanda mundial de vainillina se estima en alrededor de 40,000 toneladas por año. La mayoría de la vainillina producida se utiliza en la industria alimentaria como saborizante y aromatizante en productos como helados, chocolates, postres, bebidas, panadería y productos lácteos. También se utiliza en la industria de fragancias y cosméticos como ingrediente en perfumes, lociones y productos para el cuidado del cabello. La demanda de vainillina ha aumentado en los últimos años debido a la creciente demanda de productos naturales y orgánicos, así como a la preocupación por los efectos negativos de los aditivos alimentarios sintéticos en la salud. Sin embargo, la producción de vainillina natural es limitada y su costo es significativamente más alto que el de la vainillina sintética, lo que ha llevado a la proliferación de productos sintéticos que imitan el sabor y aroma de la vainilla. Una propuesta de mucho interés, que por otro lado pone de manifiesto el enorme interés en recuperar los componentes presentes en los productos residuales que, mucho mejor que desechos es tratarlos como materias primas en procesos refinados para obtener productos demandados de forma compatible con el respeto al Medio ambiente.



PROGRAMACIÓN SINTÉTICA.

El concepto de programación, software, aplicación más recientemente, está arraigado desde hace mucho. Concreta la idea más primigenia de algoritmo como conjunto finito de instrucciones para resolver un problema. La plasmación mediante un código de esos pasos sucesivos para alcanzar la solución está en el subsuelo del concepto de programa.

Es difícil sustraerse a encajar en un programa cualquier cosa que se nos ocurra, incluyendo los programas de duración infinita, que nunca acaban, como los que responden a un bucle infinito, que, en lenguaje de programación Python, respondería a la instrucción " while True", seguida de la secuencia de instrucciones que concretan la opción de que se trate. Ahora bien, dado que esta instrucción se ejecutará siempre que True, que es una constante que siempre será verdadera, lo sea, por lo que el bucle se ejecutará sin terminar nunca y la ejecución será por tiempo indefinido.

El ADN es una molécula compleja que contiene la información genética, necesaria para construir y mantener un organismo. La información contenida en el ADN se expresa en forma de secuencias de nucleótidos, que se organizan en genes. Cada gen contiene información para producir una proteína específica, que es esencial para la función celular y el mantenimiento del organismo. En este sentido, se podría decir que el ADN es el programa que establece las instrucciones necesarias para la vida.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el ADN no es el único factor que determina la vida de un organismo. Otros factores, como el ambiente y la epigenética (modificaciones químicas que afectan la expresión génica), también juegan un papel importante en la expresión y regulación de los genes. Pero, el ADN es una parte esencial del funcionamiento de los organismos vivos y contiene información genética que se puede considerar como un "programa de la vida", aunque sea importante tener en cuenta que hay otros factores que también influyen en la vida y el funcionamiento de los organismos.

Los biólogos moleculares reducen las células a sus genes y moléculas componentes para ver cómo funcionan, mientras tanto, los biólogos sintéticos manejan las células pretendiendo que realicen nuevas acciones, con lo que se aproximan al descubriendo de los secretos implicados en el funcionamiento de la vida. La biología sintética es una disciplina que enfoca la síntesis de biomoléculas o la ingeniería de sistemas biológicos con funciones nuevas que no se encuentran en la naturaleza. A diferencia de la biología, que se ocupa del estudio de los seres vivos, la biología sintética intenta rediseñar sistemas biológicos, que ya existen en la naturaleza o crear sistemas biológicos artificiales. El objetivo de la biología sintética no es solo combinar la información genética de organismos existentes, sino crear formas de vida parcial o totalmente artificiales.

La biología sintética se ocupa de la síntesis de biomoléculas o la ingeniería de sistemas biológicos, pretendiendo diseñar sistemas que no se encuentran en la naturaleza. La disciplina se suele subdividir áreas que se ocupan de las fases de desarrollo, que incluyen la construcción de sistemas biológicos básicos, la optimización de sistemas biológicos y la aplicación de sistemas biológicos a la biomedicina y la obtención de fármacos. Aunque la biología sintética y la edición del genoma tienen en común que ambos tratan el cambio del código genético de un organismo, se suele diferenciar entre estos dos enfoques en función de cómo se realiza ese cambio. En el fondo, se sitúa el objetivo de mejorar las cualidades de los sistemas biológicos existentes y lograr funciones inexistentes en la Naturaleza, de hecho, ha permitido la creación de una célula bacteriana controlada por un genoma sintético.

En 2010, un equipo de científicos liderados por Craig Venter, anunció la creación de una célula bacteriana con un genoma completamente sintético. El equipo utilizó una técnica llamada síntesis química de ADN para construir un genoma de bacterias completo a partir de cero, utilizando nucleótidos sintéticos en lugar de los nucleótidos naturales del ADN. Posteriormente, este genoma se insertó en una célula bacteriana vacía y se activó. Esta célula bacteriana, denominada *Mycoplasma mycoides* JCVI-syn1.0, la controlaba un genoma completamente sintético y se comportaba como una célula normal. Aunque su genoma era artificial, la célula sinté-

tica requería nutrientes y condiciones ambientales normales para sobrevivir y reproducirse. Esta hazaña fue un gran hito en la biología sintética y abrió la puerta a nuevas posibilidades en la creación y manipulación de organismos vivos. Sin embargo, también ha generado preocupaciones sobre la seguridad y los riesgos potenciales de la liberación de organismos sintéticos en el medio ambiente, seguramente con mayor nivel de preocupación que la todavía ficción actual de los robots artificiales.

En el escenario de la biología sintética, se concibe la célula como un dispositivo programable, en una especie de fusión de la biología molecular y la ingeniería. En esta especie de mecano, los componentes son proteínas y genes y la programación no es muy distinta de la propia de los ordenadores, salvo que el lenguaje de programación que se usa no es Python ni C++, ni FORTRAN ni LISP, ni nada parecido, sino el lenguaje del ADN, pretendiendo crear proteínas que interactúen entre sí.

El código genético utiliza las cuatro bases nitrogenadas: adenina, citosina, guanina y timina, para agruparlas en codones de tres letras, que concretan el aminoácido que corresponde a cada posición, dentro de una proteína. El lenguaje del ADN se utiliza en dos procesos fundamentales: la transcripción y la traducción. En la transcripción, la secuencia de ADN de un gen, se vuelve a escribir en forma de ARN mensajero (ARNm). En la traducción, el ARNm se decodifica para construir una proteína. El ARNm utiliza el código genético para especificar qué aminoácidos se necesitan para construir la proteína. El lenguaje del ADN se puede entender como un lenguaje universal, que se traduce en el idioma de las proteínas. El ADN se transcribe a un ARNm, que es como un dialecto del ADN y luego se traduce en proteína, un idioma totalmente distinto. Estos términos lingüísticos describen con exactitud lo que, de hecho, está sucediendo.

Las posibles aplicaciones médicas de la biología sintética son muchas y, sobre todo nos acerca a examinar cómo funciona la vida en el nivel más íntimo. El enfoque clásico de la Biología molecular ha sido separar las células para examinar cómo funcionan. Otra cosa bien diferente es intentar que las células hagan cosas diferentes a las que suelen hacer, creando nuevas funcionalidades.

Descubrir en que funciones están implicados los componentes individuales y como todos juntos funcionan para perfilar una función es un paso enorme en la dirección de desvelar los secretos del comportamiento celular. Pero en biología sintética se adopta un enfoque diferente y se trata de responder, no a si es necesario, sino si es suficiente, es decir, que conjunto mínimo de componentes, incluyendo sus interacciones, bastan para permitir que una célula haga alguna cosa concreta.

No escapan al observador las dificultades de lograr lo que narramos, por cuanto recordemos que se trata de un sistema natural, que no se comprende mucho cómo lo hace y que las modificaciones no son nada fácil de plantear. Incluso, las analogías con otros sistemas tampoco resultan fáciles de entrever. Una célula es un mundo, con un ADN que contiene las secuencias de todas las proteínas individuales que puede generar, que pueden intervenir en reacciones químicas o participar en la construcción de las estructuras celulares o procesan información y la forma en que hacen todo esto, puede verse influenciada por otras proteínas. La cuestión, por tanto, es que no se trata de tener como objetivo la construcción de vida artificial, creando células a partir de moléculas, sino partir de genes y proteínas y buscar generar funciones particulares, en el bien entendido de que no hay más remedio que utilizar todas las capacidades que ya son operativas en la célula.

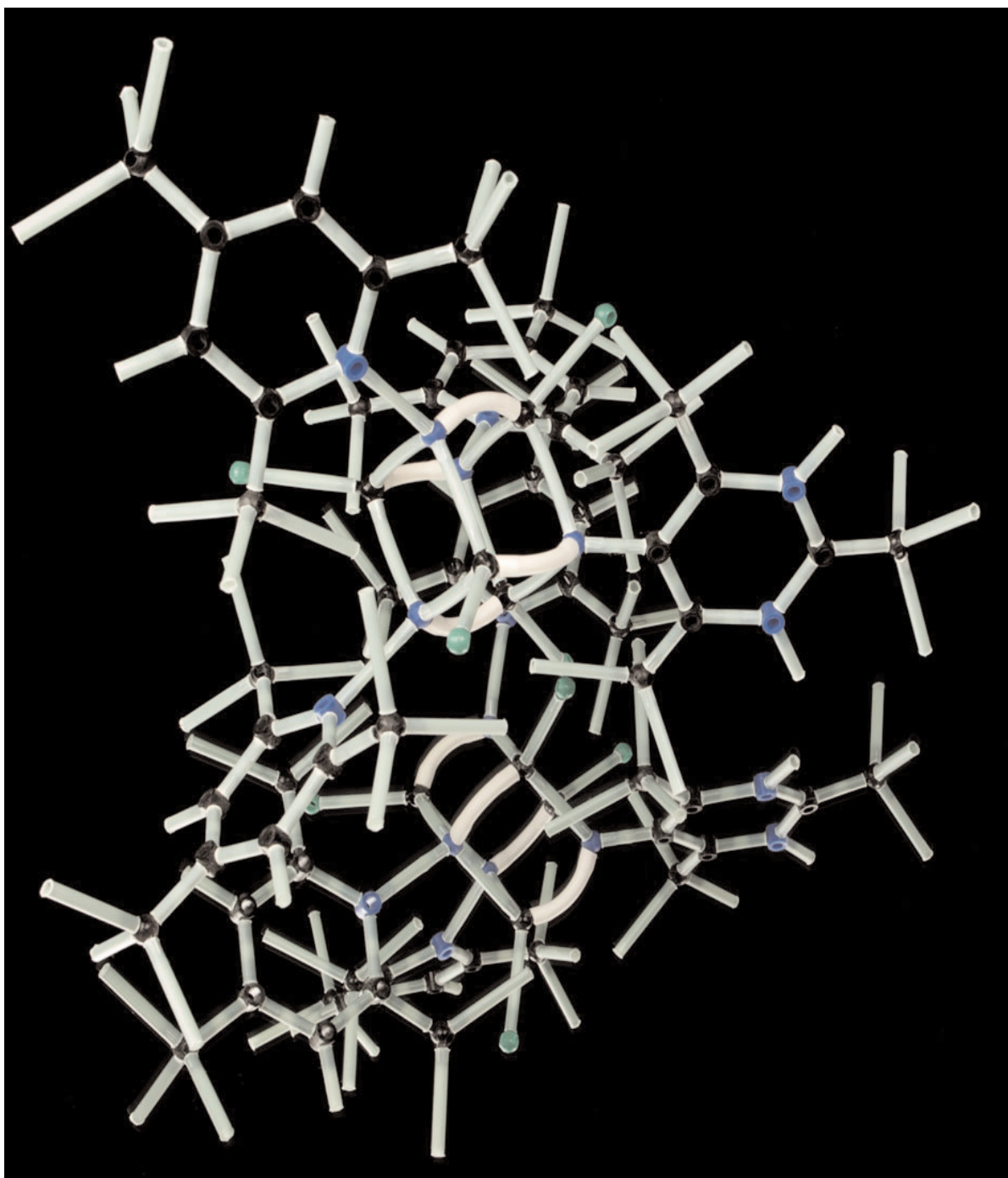
En el mundo vegetal se tiene experiencia en la mejora o en la ingeniería genética que con sus metodologías modifican aspectos que pueden mejorar algunas propiedades, a costa de otras que empeoran o son no deseadas. Sin ir más lejos, uva sin binza, dulce, pero con una piel dura y poco agradable, aunque el dulzor sea muy notable. En suma, si se coloca un gen en una célula, al expresarse, producirá una proteína, con toda la parafernalia que ello implica, como máquinas moleculares que son. Se construye una función, pero en un sistema en el que la célula proporciona toda la infraestructura necesaria.

En el fondo, la filosofía subyacente en la disciplina Biología Sintética es que la maquinaria celular no tiene por qué limitarse a las funciones que evolucionaron de forma natural, sino otras funciones que se pueden importar o trasplantar a partir de otros organis-

mos. Como señala Elowitz, una bacteria pudo ser ancestro común de los humanos hace millones de años, pero si se le incorpora el gen de fabricación de la insulina, la bacteria se pone a fabricarla. Esto denota una flexibilidad celular increíble, adaptándose a nuevos programas. En el fondo, la propia evolución conlleva la capacidad de generar nuevos tipos de funciones que surgen con la evolución y la célula tiene que estar dotada de una flexibilidad para poder soportarlo. Cambiar, que es lo que conlleva la evolución, implica disponer de capacidad para hacerlo. Y esta capacidad para cambiar, en el contexto de la evolución, permite imponer los cambios mediante la manipulación, del mismo modo que tienen lugar proviniendo el estímulo del mundo exterior. La biología sintética tiene amparo en la capacidad de cambio subyacente que propicia la evolución.

El campo de aplicaciones es muy amplio. En la producción de medicamentos, con genes, y enzimas tomados de otros organismos, la célula se puede transformar en una fábrica de moléculas, con precisión exquisita. El diseñar bacterias para fabricar bacterias o microbios capaces de fijar nitrógeno, incidiría en el Medio ambiente de forma positiva. Una célula es mucho más poderosa que una molécula, por cuanto puede programarse su conducta, para buscar otras células o para producir un compuesto determinado.

No cabe duda del interés educativo de la disciplina, al obligar a aprender los principios de la biología. Las preguntas que se formulan son distintas. Ocurre algo parecido con la diferencia entre usar un ordenador o programar un ordenador. Las preguntas pertinentes, en ambos casos, son diferentes. La profundidad a la que accedes cuando se programa un ordenador genera interrogantes muy diferentes a cuando solamente accedes a nivel de usuario. En el caso celular aparecen interrogantes relativos a cómo sabe la célula que tiene que hacer una cosa u otra o como sabe cuándo está expuesta a un compuesto químico u otro, o como maneja a los genes que hay que activar o desactivar para una finalidad concreta. Es un mundo fascinante



CIRCUITOS MOLECULARES.

Las proteínas pueden hacer todo tipo de cosas Las proteínas son moléculas biológicas extremadamente versátiles y tienen una gran variedad de funciones en el organismo. Algunas de las funciones que pueden desempeñar las proteínas incluyen: 1) Enzimas: catalizando reacciones químicas en el cuerpo. Las enzimas son importantes para la digestión, la producción de energía, la síntesis de hormonas y la eliminación de productos de desecho; 2) Estructuras celulares: pueden formar estructuras celulares, como dar forma a las células y los tejidos; 3) Transporte: pueden actuar como transportadores, moviendo moléculas a través de las membranas celulares y en todo el cuerpo; 4) Defensa: pueden actuar como defensa del organismo, como los anticuerpos que protegen contra infecciones y enfermedades; 5) Señalización: pueden actuar como señalizadores, transmitiendo señales dentro y entre células, lo que permite la comunicación y la coordinación en el organismo. La regulación genética se refiere al proceso mediante el cual las células controlan la expresión de sus genes. La expresión génica es el proceso por el cual la información genética en el ADN se convierte en una proteína funcional en la célula. La regulación genética es esencial para el correcto funcionamiento de los organismos vivos. Los genes pueden ser activados o desactivados en diferentes momentos y en diferentes células del cuerpo, lo que permite que los organismos se desarrollen, crezcan y se adapten a su entorno.

Existen diferentes mecanismos de regulación genética, incluyendo la regulación a nivel de la transcripción del ADN en ARN y la regulación a nivel de la traducción del ARN en proteína. Los factores de transcripción y otros factores de unión al ADN, son proteínas que se unen a ciertas regiones del ADN y pueden activar o desactivar la transcripción del gen. Los microARNs son pequeñas moléculas de ARN que pueden unirse a los ARN mensajeros y disminuir su estabilidad o impedir su traducción en proteína. La regulación genética es un proceso muy complejo y aún no se comprende en su totalidad. Sin embargo, se han realizado muchos avances en la comprensión de los mecanismos de regulación genética en

los últimos años, lo que ha llevado a importantes avances en medicina y en biotecnología.

El carácter camaleónico de las proteínas lo atestigua el hecho de que valen para la estructura y para favorecer las reacciones químicas, pero donde se pone de manifiesto la grandeza de las proteínas es en el hecho de que pueden activar o desactivar los genes. De esta forma una proteína ayuda a un gen a producir más de alguna otra proteína o incluso de ella misma. Es decir, autocontrolan su nivel de presencia. Es frecuente observar a un gen que se regula a sí mismo. Del mismo modo hay proteínas que pueden controlarse a si mismas, así como activar o reprimir a genes. Todavía más, porque se da una ordenación en forma de red de proteínas que se regulan entre sí de distintas formas. Unos genes regulan a otros. La regulación es un proceso complejo.

No es difícil imaginar que esta disposición en red es análoga a la combinación de circuitería que configura un ordenador o una red neuronal cerebral. La analogía permite aventurar que, al igual que las neuronas, la célula puede parecer que dispone de capacidad de "pensar". Se da todo un proceso de tratamiento de la información en circuitos moleculares.

Estamos en los albores de la biología programable. Hay circuitos biológicos para para distintas acciones. Otra cosa es que hayamos sido capaces de desvelarlos. Es posible que existan circuitos naturales alcanzados por evolución y otros por descubrir análogos a aquéllos. La clave radica en descifrar los principios del circuito, de los circuitos moleculares. Porque un interrogante que permanece, provocando, es que hay que generalizar lo que ocurre en una célula a una población de ellas que hacen lo mismo. Todo parece indicar que a las células les encanta trabajar juntas. De hecho, hay que explicar cómo el organismo multicelular enorme que integra trillones de células es capaz de funcionar. Es más, las bacterias, que muchos consideran unicelulares, interactúan con otras y otros microorganismos y la actuación conjunta es la determinante de la funcionalidad. Las células tienen papeles diferenciados, al tiempo que comportamientos colectivos. Todo un alarde grandioso.

Hay diferencias fundamentales entre un circuito biológico y uno electrónico, y es lo que denominamos ruido. En un circuito electrónico el diseño ha pretendido reducir al mínimo el ruido, de forma que se comporta de forma determinista cuando se integra en un ordenador, por ejemplo. Pero la vida no parece darse en esta tesitura. La expresión de un gen puede fluctuar de forma aleatoria, fuera del control de la célula. La cantidad de proteína que genera un gen no está determinada con precisión. La diferencia con los circuitos electrónicos es notable, por tanto. Es como si las células dispusieran de un generador de números aleatorios que les permite usar estrategias distribuidas. Por ejemplo, aunque todas las células sean nominalmente equivalentes, como consecuencia del ruido, un porcentaje hace unas cosas y el resto hace otras.



pensándolo bien...



TRASVASES DE IDEAS.

En la historia de la Ciencia y el pensamiento, a menudo es difícil determinar con certeza quién fue el primero en tener una idea o hacer un descubrimiento. Esto se debe a que el conocimiento y las ideas se construyen a partir de la información y las teorías que ya existen, avanzando nuevas a partir del sustrato del subsuelo que la Ciencia va construyendo, y es común que varias personas trabajen en un mismo campo y lleguen a conclusiones similares de manera independiente.

Además, también hay casos en los que una idea o descubrimiento se atribuye a una persona específica, pero en realidad fue desarrollado en colaboración con otros investigadores o incluso tomado prestado de trabajos previos dando o sin darles crédito adecuado. En algunos casos, se puede determinar quién fue el primero en tener una idea o hacer un descubrimiento a través de registros y publicaciones históricas detalladas. Pero, en otros casos, es posible que nunca sepamos con certeza quién fue el verdadero pionero en un campo o tema en particular.

La ciencia está constantemente avanzando y descubriendo nuevas formas de entender el mundo que nos rodea. Uno de los campos que ha recibido mucha atención en la actualidad es la inteligencia artificial, que se refiere a la capacidad de las máquinas para realizar tareas que normalmente requerirían inteligencia humana, como el reconocimiento de patrones, la toma de decisiones y el aprendizaje automático. En los últimos años, la IA se ha utilizado en una variedad de campos, desde la medicina hasta los servicios financieros, y ha demostrado ser muy efectiva en la automatización de tareas y en la resolución de problemas complejos.

Uno de los avances más emocionantes en el campo de la IA es el desarrollo de redes neuronales artificiales, o NN. Las NN son un tipo de algoritmo de aprendizaje automático que se inspira, supuestamente, en la forma en que funciona el cerebro humano. Las NN están diseñadas para aprender de forma autónoma a partir

de ejemplos y datos, y han demostrado ser muy efectivas en el reconocimiento de patrones en imágenes y en la clasificación de texto.

Su formulación se concreta por analogía. Como tantos otros dominios de la Ciencia, que está plagada de aspectos contraintuitivos, las leyes de la naturaleza no pueden captarse sin la ayuda de las matemáticas, aunque ello no legitima la apropiación del conocimiento por esta última disciplina, en ningún caso, pero, si es cierto que su concurso amplía nuestra percepción. En el caso de los átomos, el espín y la magnetización, las matemáticas facilitan la comprensión del comportamiento complejo. Primero se formulan las ideas, después se formalizan con ayuda de las matemáticas. El modelo de Ising sobre el ferromagnetismo ha permitido concretar por analogía el funcionamiento de las redes neuronales.

La idea de Ising consiste en dilucidar una forma de saber cómo afecta el cambio de espín de un átomo en los átomos vecinos. Cuando dos átomos vecinos coinciden en el espín, ambos "arriba" o ambos "abajo" por intuición la interacción entre ambos debe ser "menor". Cuando discrepan dos átomos vecinos en el espín, la tensión entre ellos debe suponer una energía de interacción mayor. Si a un espín arriba le asignamos valor +1 y a uno abajo -1, cuando los combinamos podemos multiplicarlos, obteniendo +1 o -1, según los dos casos posibles referidos. Solamente tenemos cuatro casos posibles

$$(+1 \cdot +1 \rightarrow 1); (-1 \cdot -1 \rightarrow 1); (+1 \cdot -1 \rightarrow -1); (-1 \cdot +1 \rightarrow -1)$$

Para cualquier par de partículas +1 o -1 nos revela si ambos átomos tienen o no el mismo espín. Una representación matemática de un fenómeno físico. Ising nos propone que cuando los espines son iguales hay menos energía de interacción y, por el contrario, cuando son diferentes la energía de interacción será mayor. Se trata de ampliar la valoración al considerar una matriz amplia de átomos y no solamente dos. Para ello propone sumar todos los espines coincidentes y no coincidentes en el sistema bajo estudio, con lo que la energía de interacción, que supusimos como producto de la correspondiente a dos átomos vecinos, ahora lo generalizamos a todas las partículas:

$$E = -J \sum_i S_i \cdot S_{i+1}$$

Donde hemos designado por E , a la energía de interacción entre partículas y S_i y S_{i+1} los espines de los átomos i e $i + 1$ y el producto $S_i \cdot S_{i+1}$ será igual a $+1$ cuando los espines sean iguales y -1 cuando sean diferentes. La suma refleja la concordancia o discordancia globalmente. Si todos los espines coinciden, la suma será un número positivo grande y si ninguno concuerda el número será grande pero negativo. J representa la energía de interacción específica entre dos átomos que interaccionan. Cuanto mayor sea J , la energía de interacción entre los espines será mayor. El signo menos de la fórmula indica que las coincidencias las tratamos como decrementos de energía de interacción y al contrario las discordancias la incrementan. Siguiendo a Ising, si la energía de interacción es elevada, dado que hay muchos espines discrepantes, los pequeños campos magnéticos generados por los átomos coincidentes quedan anulados por los discordantes y como consecuencia no tendrá ese material un comportamiento magnético. Al contrario, si la energía de interacción es baja, hay muchos espines concordantes y el efecto acumulativo de los campos magnéticos individuales se suma y el material exhibirá un campo magnético. Cuando los espines de los átomos de hierro se alinean y el material se magnetiza, exhibe ferromagnetismo. Vemos como una descripción que se apoya en la Cuántica dicta cuando un material se convierte o no en un imán.

La cuestión es que este modelo proporcionó la inspiración directa a Hopfield para formular algo que, aparentemente no tiene nada que ver, como es el modelo de redes neuronales. Analogía bella y maravillosa como veremos. Reinterpretó y trasladó el escenario de interacción de espines a las interacciones de comunicación que se dan entre las neuronas cerebrales. Las reglas de actuación son sumamente simples para tratar el almacenamiento de la información aprendida que puede recuperarse y recordarse. Podemos imaginar en una especie de islas locales de espines correlacionados que configurarían la memoria. Los disparos de las neuronas y

la liberación de neurotransmisores en las uniones que conectan aquellas, las sinapsis, constituyen un complejo sistema que Hopfield simplifica conceptualmente asignando una fuerza a la interacción entre dos neuronas, que es el equivalente a la energía de interacción J entre espines, del modelo de Ising. En el modelo de Ising, la interacción la simplifica y reduce a los vecinos, mientras que las neuronas interaccionan de forma muy compleja y ni mucho menos se limitan a las vecinas. La analogía se establece entre el modelo de Ising y el disparo de una neurona en el modelo de Hopfield. Si el estado de la neurona es "arriba", ha disparado una señal electroquímica, y si el estado es hacia abajo, no ha disparado.

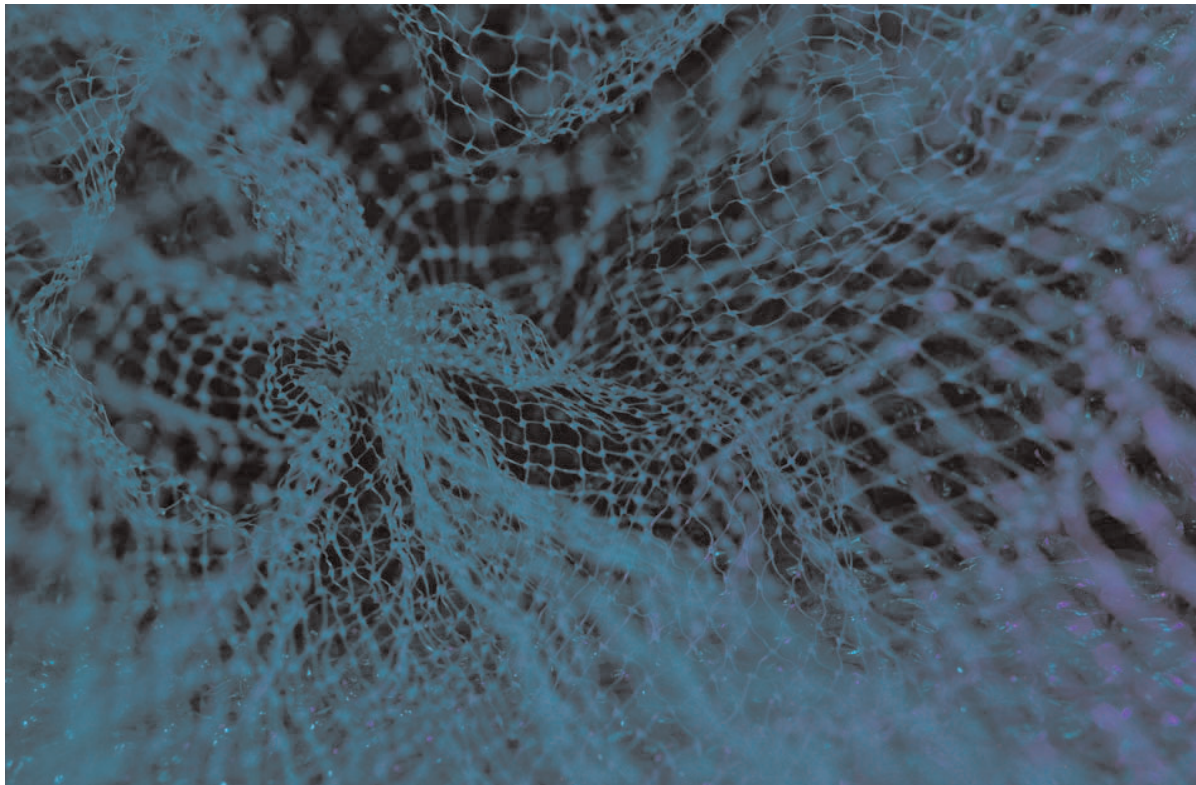
Hopfield propuso una ecuación para el estado de conexión de las neuronas, análoga a la de Ising para los espines de los átomos de hierro. Mismas matemática, para ambos modelos: dos neuronas que disparan o no al unísono, refuerzan la conexión, mientras que cuando actúan de forma opuesta, debilitan la conexión. Basta reemplazar las variables de espín por la variable neurona y en lugar de un solo valor para la energía de interacción como en los espines, J , asignamos un valor de interacción distinto para cada par de neuronas, w_{ij}

$$E = \sum_{i,j} w_{ij} S_i \cdot S_j$$

w_{ij} concreta el peso que se otorga a la interacción de las neuronas i y j . Representa la intensidad de la comunicación entre dos neuronas, relacionada con la eficacia de la sinapsis entre ambas. Aquí está la clave del modelo de Hopfield, porque la matriz que representa la interacción entre las neuronas representará estados distintos posibles como consecuencia del patrón de fuerzas asociados a las conexiones establecidas. La clave del funcionamiento de las redes neuronales artificiales consiste en determinar los "pesos" w_{ij} de las interacciones. Las distintas modalidades de aprendizaje consisten en mecanismos para identificar soluciones para estos pesos que permitan desde un conjunto de datos inicial, confirmar un resultado, de forma que, tras un entrenamiento para fijar esos pesos, se puede aplicar a conjuntos de datos que satisfagan las condiciones

en las que la red se ha entrenado, bien de forma supervisada o no, y cualquier otra consideración de las muchas que se han formulado. El modelo de Hopfield es un caso ejemplar de traslación de conceptos de un campo del conocimiento a otro. Son las ideas que subyacen las protagonistas. Los modelos para proponer soluciones, usan analogías que fomentan la creatividad de los talentos que disponen de esa intuición que es capaz de configurar el tratamiento de un problema para encontrar una solución.

Se evidencia que los eslabones que constituyen el entramado de la Ciencia impulsan e impelen el avance del conocimiento. Sin embargo, es importante recordar que la paternidad de las ideas no es el único factor importante en la ciencia y el pensamiento. Lo que realmente importa es cómo se desarrollan y utilizan las ideas y descubrimientos para avanzar en nuestro conocimiento y comprensión del mundo que nos rodea. La colaboración, el reconocimiento y la construcción sobre las ideas y trabajos previos son fundamentales para el progreso y el avance en cualquier campo de investigación o pensamiento.



pensándolo bien...



FOTOSÍNTESIS ALTAMENTE EFICIENTE.

El denominado fotosistema I cianobacterial (PSI) es una maquinaria natural sumamente eficiente. Conformar un sistema de elevada complejidad, en el que el mecanismo de transferencia de la energía de las denominadas antenas al centro de reacción, se resiste a que sea desvelado. Se han efectuado muchos intentos y tiene mucho interés, dado que la imitación para usos domésticos o industriales de la energía solar captada artificialmente, es una cuestión de enorme importancia en el contexto del uso de energía de fuentes renovables.

Un elemento central en el conocimiento del proceso, es la evaluación precisa de las energías de excitación de la clorofila. Debe incluir el tratamiento, en los sitios específicos en que tiene lugar, de las influencias del entorno sobre las propiedades electrónicas y estructurales y su evolución temporal, dada la naturaleza dinámica de la transferencia de energía.

Desde el punto de vista teórico, se aborda el estudio de los sitios en los que está situada la clorofila, haciendo uso de un modelo de fotosistema I en el que se sitúan las clorofilas embebidas en una membrana. Los cálculos mecanocuánticos se llevan a cabo, empleando aproximaciones de alta precisión como la QM/MM, es decir un híbrido mecanocuántico y de mecánica molecular, que es una simulación que combina cálculos mecanocuánticos ab initio muy precisos y aproximaciones rápidas como son las de la mecánica molecular. Este tipo de cálculos es usual en el estudio de reacciones químicas en disolución y en proteínas. La idea de este tipo de cálculos se debe, entre otros, a Karplus, Nobel en Química en 2013, por el desarrollo de modelos multiescala de sistemas químicos complejos. El coste computacional de las simulaciones de mecánica clásica molecular (MM) se comportan como $O(N^2)$, siendo N el número de átomos, determinado por el término que incluye las interacciones electrónicas. Se han ideado alternativas que limitan el radio de la interacción o incluyen el comportamiento periódico de pares de átomos u otras propuestas audaces que reducen el coste al situarlo entre $O(N)$ y $O(N^2)$. Esto supone que cuando,

como mucho, se duplica el número de átomos de un sistema, el tiempo de cálculo se sitúa entre dos y cuatro veces el del sistema simple. En la práctica, los cálculos ab initio más simples escalan como $O(N^3)$ o peor y a título indicativo el cálculo Hartree-Fock restringido se sitúa en torno a $O(N^2)$. Hay que precisar que en este tipo de cálculos N , más que el número de átomos, refiere mejor el número de funciones de la base con la que describimos el sistema y con el número de electrones del mismo. Y aquí radica el interés de los métodos híbridos, dado que una pequeña parte del sistema se trata mecanocuánticamente, cómo típicamente puede ser el sitio activo de una enzima, mientras que el resto del sistema se trata clásicamente.

En tiempo reciente el cálculo por estos procedimientos utilizan el método de multireferencia DFT/MRCI en la región QM, lo que permite obtener la energía de los sitios de forma precisa bajo una consideración explícita del entorno natural en el que se sitúa. En el caso del estudio de la fotosíntesis se analizan las formas de atrapar y las barreras que se dan en las complejas antenas y, posteriormente, se focaliza la transferencia de esa energía hacia el centro de reacción. El último modelo publicado utiliza la dinámica molecular del sistema trimérico denominado complejo del fotosistema I cianobacterial (PSI) y se ha logrado demostrar que las fluctuaciones térmicas de las moléculas de clorofila a nivel individual, previenen la formación de una especie de embudo de energía del sistema de antenas. La teoría que conlleva el modelo de exciton dipolar, soporta esta concreción. Las conclusiones son que los caminos de transferencia de energía pueden dar lugar solamente a situaciones transitorias a temperaturas fisiológicas, dado que las fluctuaciones térmicas permiten superar las barreras de energía que se dan. Esto respalda la valoración de que se trata de un mecanismo de transferencia de energía altamente eficiente en el fotosistema I cianobacterial (PSI).

En condiciones fisiológicas todo el fotosistema I está sometido a las fluctuaciones térmicas que van a permitir superar las barreras energéticas, gracias a que ese intercambio implica que las energías relativas de las clorofilas se cambian entre ellas. Este cambio del lugar de los emplazamientos de origen de la transferencia, hace que se estén abriendo constantemente vías nuevas que

encaminan hacia el centro de reacción, al tiempo que otros se cierran. Y esto es, justamente, lo que los investigadores del Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) encuentran como explicación para la elevada eficiencia del fotosistema I. La importancia de este descubrimiento, desde el marco teórico, es que supone una explicación de la eficiencia del fotosistema I y tiene aplicaciones en los fotocatalizadores, tanto naturales como artificiales o híbridos, implicados en campos como la producción de hidrógeno o en la transformación de monóxido de carbono en combustible.

a íntima colaboración teórico-experimental tiene reflejo en avances considerables, como en este caso. Una evidencia experimental es la elevada eficiencia del fotosistema I. La contribución teórica modela las clorofilas que captan la luz solar a través de un complejo de antenas que transfieren la energía a un centro de reacción que es donde tiene lugar el proceso redox en el que se transfieren los electrones. La cuestión es que el rendimiento cuántico es casi del 100% y la traducción de ello es que, prácticamente todos los fotones absorbidos están implicados en los procesos que tienen lugar en el centro de reacción. Era preciso una interpretación cabal de la cuestión. Y, lo dicho, las aplicaciones a otros sistemas o al diseño de nuevos, es imperativa. Una gran noticia.



T R A Z O 2 . 1 3

TONO MENOR.

Bien es sabido que las notas musicales son un conjunto de frecuencias escogidas para que sea posible su ejecución y que guardan entre si determinadas relaciones entre números sencillos. Pitágoras, tuvo mucho que ver con el inicio de la teoría y la técnica, cuando detectó que el herrero golpeaba piezas de metal que emitían sonidos que tenían relación con la longitud de la barra que golpeaba. Descubrió que los tonos musicales se pueden expresar en términos de proporciones simples. Indujo que música y matemáticas estaban estrechamente relacionadas. Reparó en que, si se dividía la longitud de una cuerda en dos partes iguales, se producía una octava, se duplicaba la frecuencia; si se dividía en tres partes iguales, se producía una quinta perfecta. Fue un descubrimiento en el que se basó la música occidental y que hoy todavía se utiliza.

También es de destacar que Pitágoras era un ferviente creyente de que la música tenía una influencia en el alma e incidía en el comportamiento humano. Se dice que empleó la música como herramienta terapéutica y para generar estados de ánimo específicos. Postulaba que, como cada nota tiene una vibración única, las composiciones se podían utilizar para equilibrar y armonizar emociones y había que buscar las combinaciones de notas efectivas para lograr fines concretos. Premonitorio.

Es relevante que estableció la referencia de siete notas, que fue la base de la hoy denominada escala diatónica, en la que cada nota se relaciona con la siguiente según una relación específica (hoy se concreta en $2^{1/12}$). Pitágoras tuvo gran incidencia en la música occidental, tanto en términos de la teoría matemática que subyace, como en la forma de entender la relación con el comportamiento humano.

Nuestro sistema auditivo nos permite percibir diferencias de tonos en los sonidos que escuchamos. La capacidad de percibir estas diferencias se conoce como discriminación tonal y es fundamental para la percepción de la música, el habla y otros sonidos

complejos. Nuestro oído interno, específicamente la cóclea o caracol, actúa como un receptor de frecuencia que descompone los sonidos en sus componentes de frecuencia y los envía al cerebro para su procesamiento. La discriminación tonal es una habilidad auditiva importante que se desarrolla temprano en la vida y puede mejorarse a través de la práctica y la exposición a diferentes sonidos. Por ejemplo, los músicos entrenados pueden tener una mayor capacidad de discriminación tonal que las personas sin entrenamiento musical.

La discriminación tonal también es importante para la percepción del habla, ya que las diferencias de tono se utilizan para distinguir entre diferentes palabras y significados. Por ejemplo, en idiomas tonales, las diferencias de tono pueden cambiar completamente el significado de una palabra.

No es lo mismo percibir el tono de La mayor que el tono de Do mayor, ya que se refieren a tonalidades o escalas musicales diferentes. Cada tonalidad o escala tiene una estructura armónica única que produce diferentes emociones y sensaciones en el oyente.

La tonalidad mayor se caracteriza por tener una tercera mayor en lugar de una tercera menor, lo que le da un carácter más luminoso y alegre en comparación con la tonalidad menor. Por lo tanto, la tonalidad de Do mayor puede sonar más brillante y enérgica que la tonalidad de La menor. Además, cada tonalidad tiene su propia serie de notas que la componen, y las relaciones armónicas entre estas notas también pueden variar de una tonalidad a otra. Por lo tanto, aunque ambas tonalidades puedan tener algunas notas en común, cada una tendrá un conjunto único de relaciones armónicas que pueden influir en la forma en que la música es percibida.

Tampoco es lo mismo percibir el tono de La mayor que el tono de Do mayor, ya que cada tonalidad tiene una estructura armónica única que produce diferentes emociones y sensaciones en el oyente. Cada tonalidad tiene su propio carácter distintivo que se deriva de sus relaciones armónicas y su sonido global.

La relación armónica se refiere a la relación entre dos o más notas que suenan simultáneamente y que producen una sensación de consonancia o disonancia. En música, se pueden identificar diferentes tipos de relaciones armónicas que generan distintas sensaciones y emociones en el oyente. Por ejemplo, una relación armónica básica es la consonancia perfecta, que se produce cuando dos notas suenan simultáneamente y se perciben como "agradables" al oído. Esta relación se da cuando dos notas tienen una frecuencia de vibración en una relación simple de números enteros, como la octava (2:1) o la quinta (3:2), como propusiera Pitágoras.

Por otro lado, la disonancia es una relación armónica que se percibe como "desagradable" al oído. Esto ocurre cuando dos notas tienen una relación de frecuencia que no es simple, como la séptima mayor (15:8) o la del tritono (45:32).

Además, la armonía también se refiere a la forma en que las diferentes notas o acordes se combinan y se relacionan entre sí para crear una sensación de progresión armónica. Por ejemplo, una progresión de acordes que sigue una secuencia predecible, puede generar una sensación de estabilidad y satisfacción armónica, mientras que una progresión que desafía las expectativas puede generar tensión y disonancia.

La percepción de una relación armónica en el cerebro se produce a través de la actividad neuronal que se genera en la corteza auditiva, que es la región del cerebro que procesa la información sonora y que está situada en la región temporal del cerebro, en ambos hemisferios cerebrales. Cuando escuchamos dos o más notas que suenan simultáneamente, las neuronas de la corteza auditiva se activan y generan una serie de patrones de actividad que reflejan la información sobre la frecuencia, el volumen y la duración de las notas.

En el caso de una relación armónica, la actividad neuronal en la corteza auditiva muestra un patrón de actividad organizado y coherente que refleja la consonancia de las notas. Esto se debe a que las notas que tienen una relación armónica simple, como la

octava o la quinta, generan un patrón de actividad neuronal que es fácil de procesar y que se percibe como agradable al oído.

Por otro lado, en el caso de una relación disonante, la actividad neuronal en la corteza auditiva muestra un patrón de actividad desorganizado y poco coherente, lo que refleja la disonancia de las notas. Esto se debe a que las notas que tienen una relación disonante, como la séptima mayor o el tritono, generan un patrón de actividad neuronal que es difícil de procesar y que se percibe como desagradable al oído.

Por ejemplo, nos planteamos por qué una tercera menor produce sensación de tensión y melancolía y el efecto es que el acorde suena disonante y crea una sensación de incompletitud o inestabilidad. La tercera menor se forma cuando se toca una nota y se añade la nota que está tres semitonos por encima de ella. Esta distancia tonal produce un sonido inquietante y triste que puede generar emociones de tristeza, nostalgia o añoranza en el oyente. Observemos más matices del sonido. Un simple acorde menor de 3 notas (conocido también como tríada menor) tiene la nota intermedia más cercana a la tónica, comparado con el equivalente en tono mayor (tríada mayor) que tiene la nota intermedia más cercana a la dominante. Pongamos como ejemplo el tono de Do: Tríada mayor de Do: (Do, Mi, Sol). Tríada menor de Do: (Do, Mi b, Sol). Teniendo en cuenta que la tónica es la nota más fuerte y la que más nos llama la atención, es posible que los acordes menores transmitan mayor tensión emotiva que los acordes mayores por existir un espacio inferior entre las frecuencias interválicas que existe entre la tónica (Do) y la medianta (Mi b, o Mi).

En la música occidental, la tercera menor se utiliza en escalas menores, donde se combina con otros intervalos disonantes para crear un efecto emocional más intenso. También se utiliza en muchos acordes menores, donde a menudo se combina con la quinta disminuida para crear un acorde más tenso y triste. En suma, la tercera menor produce sensaciones de tensión y melancolía, debido a su sonido disonante e inestable, y su uso frecuente en la música triste y melancólica la ha convertido en un símbolo musical asociado con estas emociones.

Cono se establece una relación de equivalencia entre las diferentes escalas, manteniendo unas reglas como la correspondiente a la escala diatónica, constituida por cinco tonos y dos semitonos, podemos pasar de un tono menor a un tono mayor. Para ello, es necesario subir la nota tónica (la nota principal de la tonalidad) un intervalo de un salto de tercera menor, es decir, un tono y medio. Por ejemplo, si se tiene la tonalidad de La menor, la nota tónica es La. Para pasar a su relativo mayor, que es Do mayor, se debe subir la nota tónica un tono y medio lo que lleva de La a Si y de Si a Do. Por lo tanto, La menor y Do mayor tienen las mismas notas, pero comienzan en notas diferentes y tienen un tono diferente como centro tonal.

En términos generales, se puede decir que para pasar de una tonalidad menor a su relativa mayor, se sube la nota tónica un tono y medio. Por ejemplo, si se tiene la tonalidad de Sol menor, se debe subir un tono y medio, desde Sol (Sol -> La -> Si) para llegar a su relativo mayor, que es Si bemol mayor. Tendrán ambas escalas las mismas notas, pero comienzan en notas diferentes y tienen un tono diferente como centro tonal.

En el ámbito personal, tono significa el estado emocional de una persona. Esto puede ser en un período de tiempo muy corto o muy largo. Una escala es una serie de pasos o niveles que están dispuestos en una secuencia. La Escala Tonal Emocional muestra todas las emociones que una persona puede experimentar en cualquier momento de su vida. Esto nos hace plantearnos sobre la importancia del sonido de una tonalidad. El primer grado (I o tónica) es el más importante de todos, junto al quinto (V o dominante). La combinación de ambos acordes es la base de la música tonal occidental y la que es capaz de crear efectos de tensión (dominante) y reposo (tónica). La principal diferencia, como hemos dicho, entre la escala Mayor y Menor

es que la escala mayor posee el intervalo de tercera mayor, mientras que la escala menor posee el intervalo de tercera menor. La tristeza es una emoción subjetiva y personal, por lo que lo que algo que puede ser considerado triste por una persona, puede no serlo para otra. Sin embargo, existen algunos tonos o escalas musicales que, a menudo, se asocian con la tristeza. Algunos de ellos

son: 1) Escala menor: se asocia a menudo con la tristeza y la melancolía, y es comúnmente utilizada en la música clásica, así como en el blues y en algunos tipos de música folclórica. 2) Tonos menores: además de la escala menor, algunos tonos menores en particular, como el de La menor y el de Do menor, a menudo, se utilizan para expresar tristeza y dolor emocional. 3) Lento y melancólico: independientemente de la escala utilizada, puede tener una cualidad triste y emotiva. 4) Modulaciones tristes: como la de pasar de un tono mayor a uno menor, también se asocian con la tristeza y la melancolía. 5) Letras emotivas: también pueden contribuir a su tono emocional porque pueden evocar sentimientos de tristeza y melancolía. 6) Instrumentación: porque los instrumentos utilizados en una canción también pueden crear un ambiente triste y emotivo. Por ejemplo, el piano y el violín a menudo se utilizan en canciones tristes, debido a su capacidad para crear sonidos emotivos y melancólicos. 7) Silencios: que pueden crear un espacio emocional que permite que la música tenga un efecto más profundo en el oyente. En general, la música puede evocar emociones intensas y personales. La tristeza es solo una de las muchas emociones que la música puede expresar. Hemos destacado la incidencia del tono, en especial del tono menor como genitor de tristeza y melancolía. Y dedicamos, finalmente atención a la famosa canción francesa Las hojas muertas, "Les Feuilles Mortes", también conocida como "Autumn Leaves" en inglés, que ha sido interpretada por muchos artistas en diferentes tonalidades. Originalmente fue escrita en la tonalidad de sol menor (Gm), pero es común encontrarla en otras tonalidades, dependiendo de la versión que se interprete. Cada versión de la canción puede ser transpuesta a una tonalidad diferente para adaptarla a la voz del cantante o al instrumento que se utiliza para interpretarla. Por lo tanto, la tonalidad de "Les Feuilles Mortes" puede variar dependiendo de la versión que se esté escuchando.

En la escala menor, la tercera menor crea un intervalo de tono y medio entre la tercera y la quinta nota de la escala, lo que puede crear una sensación de tensión y disonancia. Esta tensión se resuelve cuando la música regresa a la tónica, o la primera nota de la escala, lo que puede generar una sensación de liberación o resolución. Esta resolución, sin embargo, puede no ser completamente satisfactoria en el caso de la escala menor, lo que puede contribuir a la sensación de tristeza o melancolía. Además, como hemos

dicho, la escala menor a menudo se utiliza en melodías lentas y emotivas, que pueden reforzar la sensación de tristeza. En resumen, el tono y medio se percibe como triste debido a la presencia de una tercera menor en la escala musical menor, que crea una sensación de tensión y melancolía. Esta tensión, combinada con el uso común de melodías lentas y emotivas, puede activar áreas específicas del cerebro que están involucradas en el procesamiento emocional y generar una sensación de tristeza en el oyente.

Hoy, hay software de edición musical, como Audacity, que permite transportar de tonalidad una pieza musical. Naturalmente, también es posible transponer la canción manualmente si se tiene conocimiento de teoría musical y se sabe cómo transponer una canción en la partitura. En este caso, se debe subir todas las notas de la canción la misma cantidad de semitonos para transponerla a la nueva tonalidad.

Es importante tener en cuenta que, al transponer una canción a una tonalidad diferente, la calidad tonal y la relación armónica entre las notas pueden cambiar. Por lo tanto, es importante escuchar cuidadosamente la nueva versión de la canción para asegurarse de que suene bien y en armonía. En Internet podemos encontrar versiones de la pieza referida en varias tonalidades. Nosotros hemos efectuado el experimento de partir de una versión en la tonalidad de Re menor, melancólica, triste y trasponerla a su relativa escala mayor, Fa mayor, más brillante y alegre. Apreciando notable diferencia, radicalmente diferente cuando la transformamos a tonalidad mayor. Si algún lector está interesado en mayores detalles, puede escribirme (rqna@um.es) y le haré partícipe del experimento.

La componente cultural es relevante en la asociación de los tonos mayores a alegría y los menores a tristeza. El Cumpleaños feliz está escrito en tono mayor y la Marcha Fúnebre de Chopin lo está en modo menor y estamos expuestos a un patrón repetitivo de sonido y a la asociación del significado emocional de los modos mayores o menores prácticamente desde que nacemos, con lo cual no es de extrañar que se asuma el significado emocional de la música basándose en la experiencia. Es de resaltar el hecho de que en tiempo reciente la música se decanta preferentemente por un

tono menor, aunque no necesariamente porque las personas se estén volviendo más negativas. Es posible que se esté incrementando la complejidad derivada de factores emocionales.



HIPERVECTORES Y RAZONAMIENTO SIMBÓLICO.

Hace tiempo que la interfase persona-máquina se ha dulcificado. En tiempo pasado se hablaba del concepto amigable. Estamos acostumbrados a ello y nos pasa inadvertido, pero la interacción con un ordenador, a través de un teclado, tiene una alta dosis de artificialidad. Salvo en circunstancias realmente dramáticas, los humanos no empleamos un teclado para comunicarnos, ni mucho menos. Pero no es menos artificial que la codificación en la que está basada la interacción para que sea comprensible por ambos interactuantes, ha requerido, desde el comienzo, de traductores que permitan una interpretación cabal por ambas partes. NO ha sido fácil avanzar en la mejor dirección. La rigidez de la sintaxis suponía largas y tediosas tareas para acomodar lo codificado a lo que se pretendía. Durante mucho tiempo los lenguajes de programación, compiladores o intérpretes, rechazaban instrucciones por falta de una coma en el lugar apropiado o una letra de más en un comando.

Durante mucho tiempo el tópico del lenguaje natural era un auténtico mito inalcanzable, aunque largamente deseable. Han transcurrido muchos años para que hoy se puedan advertir mejoras sustanciales en la interacción persona-máquina. Casi sin darnos cuenta, hoy nos equivocamos, tecleamos en los deficientes teclados de un teléfono, y con palabras a medias y errores tipográficos, incluso gramaticales, la búsqueda sale adelante y tenemos respuesta. Solo hay que recordar que esto no ha sido gratuito. Mucho tiempo, mucho dinero apoyando, mucha investigación, mucho esfuerzo y muchas equivocaciones han jalonado el avance hasta que los modelos de lenguaje nos regalan una conversación amigable, capaz de invalidar test de inteligencia como el propuesto por Turing y nos llegan a confundir cuando somos capaces de conversar con un sistema informático, como está ocurriendo con el célebre CHAT GPT.

Por un lado, la opción de desarrollo de la Inteligencia artificial basada en redes neuronales, representa, en el fondo, claudicación ante la imposibilidad, hasta el presente, de entender como comprendemos los humanos. Precisamente en el escenario de la lucha sin cuartel entre los prebostes del MIT, con Minsky a la cabeza, partidarios de que la vía era la de ahondar en la comprensión humana y tratar de emular los mecanismos de la misma, frente a las redes neuronales que aportan una inteligencia basada en la memoria y la gestión de la misma no garantiza la comprensión de su contenido. La ascendencia de los del MIT impulsó su propuesta y relegó a las redes neuronales a un segundo lugar que, en términos de inversión estatal norteamericana, lo que supuso que acaparando la primera de las opciones señaladas la inversión estatal, la segunda opción no destacó como útil, hasta que la evidencia de los pocos logros de la primera opción, dieron paso a la segunda, que es la que hoy, en un universo en el que la investigación, cada vez más, está mediada por los intereses, se ve impelida al evidenciar una mayor eficacia en aspectos no fundamentales, pero de exhibición más evidente.

Los modelos de lenguaje en los que Markov se enseñorea y la capacidad de cálculo de las actuales máquinas y la velocidad de proceso permiten el tratamiento de grandes cantidades de datos, con lo que las denominadas "bases de datos de conocimiento" brindan una oportunidad, al menos de cantidad muy superior a la tratable por las personas. Las herramientas usuales, como los buscadores de información en Internet, han mejorado sensiblemente y los sistemas conversacionales, tanto para información de rutina, como para entretenimiento son más eficaces. Excluimos, deliberadamente, el aprendizaje, dado que las bases de datos en las que está basada la información que elaboran, incluyen datos no contrastados y la habilidad de estos sistemas es tal que llegan a elaborar respuestas en las que aventuran datos no solo no contrastados, sino imaginarios, generados en una estricta construcción de respuestas que incorpora hechos o personajes o conceptos que son pura tentativa léxica y no responden a la seriedad con la que se debe responder en un proceso de aprendizaje en que no pueden haber elementos que sean erróneos o imaginarios. No parece haber garantías de que las respuestas estén elaboradas respondiendo al criterio de certeza. Es más, el proceso de corrección de errores no está

nada claro que pueda evitar la indebida construcción de respuestas, con contenidos falsos o aventurados sin base probatoria ni elementos que lo avalen. Digamos que falta mucha transparencia para poder valorar cabalmente el logro alcanzado.

Realmente, los sistemas desarrollados son suficientemente complejos, como para no comprender como trabajan y como lo hacen. No es inducible una analogía de trabajo en relación con los humanos, usando símbolos, objetos, ideal y de relaciones entre ellos. Y esto tiene mucho que ver con que la estructura de las redes neuronales es de bloques que representan las neuronas. Cada una de ellas recibe señales, lleva a cabo unos cálculos y produce salidas. Las modernas redes neuronales artificiales, son redes de estas unidades computacionales, entrenadas para hacer tareas específicas. El mecanismo que se emplea no tiene por qué tener nada que ver con el funcionamiento de nuestro cerebro. Si nuestro problema es distinguir la cara y la cruz de una moneda, requerimos dos neuronas en la capa de salida. Si además consideramos que están coloreadas, por ejemplo, de blanco y negro, requeriremos cuatro neuronas en la capa de salida. Si seguimos incorporando elementos diferenciales, tendremos que ir aumentando el número de neuronas. Pero esta forma no tiene por qué tener nada que ver con la forma de percibir el mundo natural con todas sus variantes. Una alternativa es concebir que una entidad hiperdimensional (una matriz) representa cada pieza de información con todas las propiedades concebibles. La computación asociada a este concepto es la denominada hiperdimensional. Estamos hablando de matrices de 10.000 números, es decir una representación de un punto en un espacio 10.000 dimensional. La matemática para tratar estos objetos y el álgebra para manipularlos es bien conocida, flexible y potente para aprovechar las capacidades de computación actuales. La transparencia está asegurada en esas estructuras. Los vectores que representan a los valores de las propiedades deben ser distintos, lo que se garantiza mediante la ortogonalidad. En un espacio tridimensional, estos vectores seguirían las tres direcciones del espacio, x , y y z . Por analogía, en un espacio 10.000 dimensional habrá 10.000 vectores mutuamente ortogonales. Si nos conformamos con que solamente sean casi ortogonales, tendremos millones de vectores cuasi ortogonales, distintos, en un espacio de elevada dimensión.

El cálculo con vectores cuasi ortogonales es una propuesta de mitad de los noventa del siglo pasado en la Universidad de Toronto. Kanerva y Plate desarrollaron de forma independiente el álgebra para manipular hipervectores, de forma eficaz y útil para el mundo de la computación. Se trata, básicamente, de manipulación de conceptos simbólicos. Así, la multiplicación combina ideas. Por ejemplo, mezclar forma, como la cara y la cruz de una moneda, con el vector círculo nos conduce a una idea de que la "cara es un círculo", por ejemplo. Este vector, nuevo, será casi ortogonal con el de "cara o cruz" y con el de "círculo". Los componentes individuales son recuperables, como debe corresponder con un vector que los ha unido. Es decir, dado un vector que representa a una moneda concreta, podemos desenlazarlo y recuperar el vector que contiene la forma, el color, o cualquier otra propiedad.

Con la adición pasa algo parecido. Ahora superponemos conceptos. Supongamos que tenemos dos conceptos, "cara es círculo" y "color es rojo" y los adicionamos para obtener otro vector que es "cara circular y color rojo". El nuevo vector se puede descomponer para obtener los integrantes. Una tercera operación es la permutación, en la que recuperamos los componentes individuales de los vectores. En un espacio tridimensional, los valores de x , y y z , se pueden mover de forma que el x pasa a ser y , el y pasa a ser z y el z pasa a ser x . De esta forma se generan nuevas estructuras. El interés radica en que podemos recuperar los eventos sin más que recorrer el orden inverso de las operaciones. Por ejemplo, en una secuencia las cosas ocurren una y otra vez. Si consideramos dos eventos representados por dos hipervectores $V1$ y $V2$, podemos superponerlos en un solo vector, pero sería a costa de destruir la información sobre el orden de los eventos. En cambio, si combinamos adición con permutación, mantenemos el orden y podemos recuperar los eventos en orden inverso. Las tres operaciones señaladas son suficientes para crear un álgebra formal de hipervectores y sumergirse en el razonamiento simbólico.

Recientemente, Weiss, ha ahondado en las capacidades de la computación hiperdimensional. Abordó la cuestión de la representación de una imagen compleja con un vector hiperdimensional, conteniendo información sobre los objetos de una imagen, sus pro-

iedades, desde colores hasta tamaños y posiciones. Se inició la carrera del desarrollo de algoritmos propios de las redes neuronales profundas, como es el caso de la clasificación de imágenes. Un ejemplo evidencia lo anotado: supongamos que disponemos de una imagen construida con imágenes de dígitos escritos a mano. Analizamos, mediante un algoritmo, las características de las imágenes, según algún esquema predeterminado y creamos un hipervector para cada imagen. Tras ello, el algoritmo adiciona los hipervectores de todas las imágenes del cero para crear un hipervector que es la "idea" del cero. Hacemos lo mismo con todos los demás dígitos, creando diez clases de hipervectores, correspondiendo uno a cada dígito. Ahora, estamos en condiciones de proporcionar al algoritmo una imagen desconocida. Creará un hipervector de esta nueva imagen y la comparará con los hipervectores de las diez clases que tiene almacenados. La comparación proporcionará el dígito al que resulta ser más parecida la nueva imagen.

De esta forma, se trata de que el cálculo hiperdimensional dispone de capacidad para componer y descomponer hipervectores, para "razonar". En el campo del razonamiento visual abstracto se ha abordado la resolución de un problema clásico como es el de las matrices progresivas de Raven, consistente en presentar imágenes de objetos geométricos, por ejemplo, en matrices de tres por tres y una posición está en blanco (vacía). Se debe escoger en una serie de imágenes candidatas, de forma que sea la que mejor ajusta a la que figura en blanco. Una buena dosis de audacia permitió resolver el problema usando computación hiperdimensional. Primero se creó un diccionario de hipervectores representando a los objetos de cada imagen, de forma que cada hipervector del diccionario representaba un objeto y alguna combinación de sus atributos. A continuación se entrenó a la red neuronal para examinar una imagen y generar un hipervector bipolar, solamente conteniendo elementos +1 y -1, muy apropiado para superposición con los hipervectores del diccionario. De esta forma, el hipervector generado contiene información sobre los objetos y los atributos de la imagen. En el fondo, es un proceso guiado de la red neuronal hacia un espacio conceptual de significados. Con los hipervectores generados para cada una de las imágenes en su contexto y para cada candidato, para situar en la casilla en blanco (vacía). Un algoritmo analiza los hipervectores para crear distribuciones de probabilidad para

los objetos de cada imagen, tamaño y otras características. Son esas distribuciones de probabilidad las que concretan las características, tanto del contexto como de las imágenes candidatas y las que pueden transformarse en hipervectores, usando el álgebra para predecir la candidata más probable a la imagen que corresponde llenar la casilla vacía.

La ventaja sobre los sistemas convencionales radica en que éstos emplean las reglas de la lógica simbólica para razonar de forma que requieren un enorme conjunto de reglas para determinar el siguiente paso a dar. Esto les hace ineficientes, hasta el punto de que en problemas de mosaicos de 3×3 el sistema de hipervectores, llega a ser unas 250 veces más rápido que el convencional. Por otro lado, el tratamiento con hipervectores logra hasta un 88% de precisión, frente a un 61 de los tratamientos con redes neuronales. Es una alternativa que capacita para resolver problemas simbólicos. Otra servidumbre de los sistemas actuales es la degradación del cómputo causado por la fluctuación al azar de los bits, que convierten los 0 en 1 o viceversa y no pueden corregirse por los mecanismos simples de corrección de errores. El cálculo hiperdimensional tolera mejor los errores por su propia construcción ya que aceptando la fluctuación de algún bit al azar, el hipervector sigue siendo muy parecido al original. Los sistemas basados en hipervectores son mucho más tolerantes.

Finalmente, destacamos la ventaja del cálculo hiperdimensional en cuanto a la transperencia. El Álgebra nos explica por qué el sistema elige una respuesta concreta. Esto no ocurre en las redes neuronales tradicionales. El razonamiento analógico es más apropiado en el contexto de los algoritmos que emplean el cálculo hiperdimensional. Finalmente, los requerimientos de memoria y capacidad de cálculo se adaptan a equipos de baja potencia. Muchas ventajas para una alternativa que ahora está en su primera infancia. Le esperan problemas reales y contrastar con las modernas redes neuronales y sus tamaños gigantescos que son frecuentes en la actualidad. Una cosa hay cierta y es la eficiencia que requieren los problemas que se abordan hoy día. Nos encontramos ante cuestiones que se han escalado en el mundo real a miles de millones de elementos. Ser eficiente y seguro es el objetivo. El razonamiento abstracto y eficiente parece requerir vectores

enormes que contengan el significado semántico. Por más que podamos estar obnubilados con herramientas como CAHT GPT, solamente es una anécdota. Queda mucho por hacer.



pensándolo bien...



INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA.

Resulta interesante echar un vistazo a la trastienda de los sistemas de Inteligencia Artificial que ahora mismo figuran en el escenario y resultan ser de actualidad permanente. Recientemente, se publicita el hecho de que uno de los principales retos que afrontan los gigantes tecnológicos en este momento es encontrar la forma de rentabilizar el auge de la inteligencia artificial generativa y más concretamente: Microsoft ha movido ficha con la inclusión de anuncios en algunas respuestas del chatbot de Bing y ahora ha sido Google la que ha presentado a sus anunciantes una función que permite utilizar la IA para generar campañas publicitarias.

Un modelo de lenguaje es una distribución de probabilidad de secuencias de palabras. Para una secuencia de palabras de longitud m , se le asigna una probabilidad a la secuencia que continúa. Los modelos de lenguaje generan probabilidades, gracias al entrenamiento previo usando textos escritos en varios idiomas. Ciertamente, un lenguaje abarca una gran variedad de oraciones válidas. El modelado de lenguaje incluye la espinosa cuestión de asignar probabilidad no nula a las secuencias, lingüísticamente válidas, pero que nunca intervendrán en su entrenamiento previo. Esto se aborda de varias formas, como la aplicación de la suposición de Markov o empleando arquitecturas neuronales como las denominadas redes neuronales recurrentes o transformadores.

La suposición de Markov en los modelos de lenguaje se refiere a la idea de que la probabilidad de una palabra en una secuencia de palabras depende solo de un número limitado de palabras anteriores en la secuencia, en lugar de depender de toda la historia de la secuencia. Esta suposición se basa en el concepto de una cadena de Markov, que es un proceso estocástico en el que la probabilidad de un estado futuro depende solo del estado actual, y no de los estados anteriores. En el caso de los modelos de lenguaje, se puede considerar cada palabra en una secuencia, como un estado, y la probabilidad de la siguiente palabra en la secuencia depende solo de la palabra actual y de un número limitado de palabras anteriores, conocido como el "orden" del modelo.

Por ejemplo, en un modelo de lenguaje de orden uno, la probabilidad de una palabra depende solo de la palabra anterior en la secuencia. En un modelo de orden dos, la probabilidad de una palabra depende de las dos palabras anteriores en la secuencia. La suposición de Markov es importante en los modelos de lenguaje porque permite simplificar el cálculo de las probabilidades de las secuencias de palabras, lo que los hace más eficientes y manejables computacionalmente. Sin embargo, también puede limitar la capacidad del modelo para capturar patrones complejos en el lenguaje, especialmente en casos donde las palabras anteriores no son una buena indicación de la próxima palabra en la secuencia.

Las redes neuronales recurrentes (RNN) y los transformadores son dos tipos de arquitecturas de redes neuronales que se utilizan comúnmente en la modelización del lenguaje natural. Las RNN son redes neuronales que utilizan unidades de memoria recurrente que permiten que la información se transmita entre unidades o pasos de tiempo en la secuencia de entrada. De esta manera, las RNN pueden capturar la dependencia temporal de las palabras en una secuencia y, por lo tanto, son útiles para tareas como la generación de texto, la traducción automática y el análisis de sentimientos, incluso.

Por otro lado, los transformadores son una arquitectura de red neuronal que no utiliza unidades recurrentes, sino que se basa en una operación de atención para modelar las dependencias en los datos de entrada. La atención es una operación que se utiliza para ponderar la importancia de cada elemento en una secuencia en función de su relación con otros elementos en la secuencia. Esta operación de atención se utiliza en múltiples capas en una arquitectura de transformador, lo que permite que la red capture dependencias de largo alcance en la secuencia de entrada. Los transformadores son particularmente útiles en tareas como la traducción automática y la generación de texto.

En general, ambas arquitecturas tienen ventajas y desventajas. Las RNN son útiles para modelar secuencias de longitud variable y pueden capturar dependencias de corto plazo en la secuencia. Sin embargo, pueden tener problemas de gradientes que dificultan el entrenamiento en secuencias largas. Los transformadores,

por otro lado, son eficientes en términos de memoria y pueden capturar dependencias de largo alcance, pero pueden no ser tan buenos para secuencias de longitud variable. En última instancia, la elección de la arquitectura dependerá del conjunto de datos y la tarea específica en la que se esté trabajando.

Los modelos de lenguaje se utilizan en áreas como la lingüística computacional para modelar el lenguaje natural, así como estudiar las aproximaciones computacionales propias de la lingüística. Es un área de conocimiento muy compleja, que integra informática, inteligencia artificial, matemáticas, lógica, filosofía, ciencias del conocimiento, psicología cognitiva, psicolinguística, antropología y neurociencias, entre otras. Son cosas de muchos y aquellas áreas que, a veces, se quieren hacer protagonistas están desfasadas de la actualidad. Los modelos de lenguaje también aportan significativamente en el reconocimiento de voz, para abordar las secuencias de palabras sin sentido. Que no se predicen y que por tanto tendrán una baja probabilidad de ocurrencia. Los modelos de lenguaje, tienen un papel relevante en la traducción automática, generación de lenguaje natural para crear textos parecidos a los humanos, reconocimiento grafológico, inducción dramática o recuperación de información, entre otras aplicaciones.

Desde 2018 los modelos de lenguaje extensos (LLMs, large language models) incluyen redes neuronales profundas con miles de millones de parámetros manejables y se entrena en conjuntos de datos masivos de textos sin marcado alguno previo, lo que le ha habilitado como una especie de herramienta de propósito general. Una aplicación muy singular de los modelos de lenguaje son la recuperación de información en los modelos de consulta más probable (query likelihood model). En este modelo, los documentos se clasifican en función de la probabilidad de su consulta. El modelo de lenguaje más usual en este campo es el denominado unigrama. Se puede entender como una combinación de autómatas finitos de un solo estado. Por tanto, la probabilidad de acertar en una palabra solo depende de ella, con lo que tenemos autómatas finitos de un solo estado. A su vez para cada autómata solamente tenemos una forma de lograr su único estado, mediante la asignación de una probabilidad. Naturalmente el modelo global exige que la suma de todas las probabilidades de alcanzar el estado sea la unidad. Es

decir, la frase posible a dar como respuesta se construye con el requisito de que la suma de probabilidades sea la unidad.

Unos datos son reveladores, como los siguientes: para calcular la probabilidad de cada palabra en la frase "mañana por la mañana lloverá", necesitaríamos conocer el contexto en el que aparece la frase, así como las frecuencias de cada palabra en ese contexto. Eso supone disponer de una amplia base de datos como la que ofrece Internet. Sin embargo, dado que, en este caso, no hay información sobre el contexto específico, podemos hacer algunas suposiciones generales basadas en la frecuencia de las palabras en español. Según el corpus de referencia CORPES XXI, que contiene una muestra representativa de la lengua española en el siglo XXI, las frecuencias de las palabras en la frase son las siguientes:

"mañana": 2 veces (frecuencia relativa: 0.060%)

"por": 1 vez (frecuencia relativa: 1.825%)

"la": 1 vez (frecuencia relativa: 3.406%)

"lluvia": 1 vez (frecuencia relativa: 0.014%)

"lloverá": 1 vez (frecuencia relativa: 0.0004%)

Es importante tener en cuenta que estas frecuencias son aproximadas y pueden variar según el contexto específico en el que se utilice la frase. En general, las palabras más frecuentes en español, como los artículos y preposiciones, tienen una mayor probabilidad de aparecer en la frase, mientras que las palabras menos frecuentes, como el verbo "lloverá", tienen una probabilidad más baja.

En suma, con la información propia del contexto, tenemos que determinar la probabilidad de cada palabra en el vocabulario completo del modelo, en el que deberá sumar la unidad como total. La probabilidad generada para una consulta específica, entendida como la frase completa que formula la pregunta se calcula como

$$P(\text{pregunta}) = \prod_i P(\text{palabra } i)$$

Se pueden construir modelos unigram, con diferentes probabilidades de acierto de las palabras. Para diferentes documentos se generan diferentes probabilidades de acierto para cada consulta.

De esta forma es posible clasificar los documentos para una consulta de acuerdo a las probabilidades de generación. En cada contexto la probabilidad será diferente.

Hay modelos de lenguajes más sofisticados como los denominados N-grama que para determinar la probabilidad de observar la $i^{\text{ésima}}$ palabra en el contexto de las palabras $i - 1$ anteriores se aproxima por la probabilidad de observarla en la historia contexto abreviada de las $n - 1$ anteriores palabras (lo que se denomina orden $n^{\text{ésimo}}$ en la caracterización de Markov). Hay otros modelos para describir la probabilidad de palabras, incluyendo que no necesariamente son inmediatamente adyacentes y otros más sofisticados. Los modelos posicionales o los de redes neuronales permiten tratar secuencias exponencialmente crecientes en número, que requieren el uso de la estadística para estimar las probabilidades. En las redes neuronales las palabras se representan como combinaciones lineales de sus pesos en la red neuronal. Usualmente, los modelos de lenguaje basados en redes neuronales se construyen y entrenan como clasificadores probabilísticos que aprenden a predecir una distribución de probabilidad del vocabulario global en un contexto lingüístico.

En suma, la inteligencia artificial generativa es una subárea de la inteligencia artificial que se ocupa del desarrollo de sistemas capaces de generar datos o información nueva, como texto, imágenes, música o video. En la generación de texto, los modelos de lenguaje son uno de los enfoques más comunes en la inteligencia artificial generativa. Estos modelos utilizan técnicas como el aprendizaje profundo y el procesamiento del lenguaje natural para aprender patrones en grandes conjuntos de datos de texto y luego generan texto similar a partir de esos patrones.

En cuanto a la generación de imágenes, los modelos de redes generativas adversarias (GAN) son un enfoque muy extendido, consisten en dos redes neuronales: una red generadora que crea nuevas imágenes y una red discriminadora que intenta distinguir entre las imágenes generadas por la red generadora y las imágenes reales. La red generadora utiliza la retroalimentación de la red discriminadora para mejorar la calidad de las imágenes generadas.

La música y el video también se pueden generar mediante modelos de inteligencia artificial generativa. Por ejemplo, los modelos de redes neuronales recurrentes pueden generar melodías de música a partir de patrones aprendidos en grandes conjuntos de datos de música. Los modelos de video generativos también se han utilizado para crear videos realistas a partir de imágenes fijas.

La inteligencia artificial generativa se ha utilizado en aplicaciones como la creación de arte, la generación de contenido para juegos y la creación de música y video. Sin embargo, también ha planteado preocupaciones éticas en torno a la originalidad y el uso adecuado de los datos y obras de arte generados por máquinas. Es recomendable una alfabetización mínima que nos garantice que no solamente somos usuarios de aquélla, sino, al menos, usuarios cualificados. Recomendable. Así podemos valorar como cada párrafo de respuesta en los sistemas hoy populares, procede de una generación que, en casos, puede llegar a ser contradictoria. Sigue siendo necesario el criterio del usuario en la temática que se trate, para valorar ajustadamente las respuestas y no dejarse sorprender por resultados, digamos, insólitos.



ASÍ ES, PERO SOLO LO PARECE.

Luigi Pirandello es autor de la obra de teatro "Así es, si así os parece", de éxito rotundo en otro momento, estrenada en Milán en 1918 y clarificadora sobre el comportamiento humano, ya que aborda temas como la percepción de la realidad, la subjetividad de la verdad y la complejidad de las relaciones humanas. Pirandello utiliza el teatro como un medio para explorar la naturaleza de la identidad y la existencia humana, y la obra es considerada un clásico del teatro del siglo XX. El título de este texto actualiza esta referencia inexcusable, cuando se reflexiona sobre sobre estos temas. Nos limitaremos al aspecto material.

La realidad es un concepto complejo y abstracto que se refiere a la existencia objetiva e independiente de las cosas, eventos y fenómenos en el mundo. La realidad existe independientemente de nuestras percepciones, creencias y pensamientos, aunque nuestra comprensión y experiencia de la realidad pueden verse influidas por nuestra perspectiva y contexto cultural. Se han dado en el tiempo diferentes enfoques y teorías para abordar la realidad en diferentes ámbitos: filosofía, ciencia, psicología, etc. Un breve apunte incluiría: Realismo: para el que hay objetos, eventos y propiedades en el mundo que son independientes de la mente y no son creados ni modificados por nuestras experiencias subjetivas; Idealismo, para el que que la realidad es fundamentalmente mental o espiritual, de forma que todo lo que experimentamos es producto de nuestras mentes y no existe una realidad independiente del pensamiento y la percepción; Fenomenalismo, que sostiene que la realidad solo puede ser conocida a través de nuestras experiencias o fenómenos, por lo que, no podemos conocer directamente la realidad en sí, sino solo nuestras experiencias de ella; Constructivismo: para el que la realidad es socialmente construida, con lo que nuestras percepciones y comprensiones de la realidad son el resultado de nuestras interacciones sociales y culturales, lo que significa que la realidad puede ser diferente para diferentes individuos y grupos sociales; Pragmatismo, que enfatiza la utilidad y la eficacia práctica en la comprensión de la realidad, de forma que la realidad es aque-

llo que funciona y tiene consecuencias prácticas para nuestras vidas y acciones. Todos los enfoques posibles, enmarcan una cuestión controvertida, que en el fondo implican unas teorías que evolucionan con el desarrollo de nuestro conocimiento y conforme vamos comprendiendo mejor el mundo y nosotros mismos. En suma, la base del relativismo en el que en algún momento de nuestras vidas nos sumimos, ante la falta de convencimiento propio sobre la naturaleza de nosotros mismos y de nuestro mundo.

Así es que la naturaleza de la realidad, de siempre, ha sido un tema de estudio interdisciplinario, no patrimonio de ninguna especialidad o área de conocimiento y se ha explorado desde diferentes perspectivas. Algunas de ellas se concretan en: Solipsismo: según el cual solo la propia mente del individuo puede estar segura de existir y resulta imposible conocer o probar la existencia de una realidad externa independiente de nuestras experiencias subjetivas; Realidad consensuada, según la cual la realidad se crea o se valida mediante acuerdo entre un grupo de personas o una comunidad, con lo que la realidad es producto de nuestras convenciones sociales y lingüísticas compartidas; Realidad virtual y simulación que sugiere que la realidad que experimentamos podría ser una simulación creada por una inteligencia superior o una civilización avanzada; Teoría de la información, por la que la realidad puede ser entendida como un conjunto de datos e información que se procesa, interpreta y experimenta por los seres conscientes; Múltiples realidades: que sugiere los universos múltiples o el multiverso, según el cual podría haber múltiples realidades o universos paralelos existiendo simultáneamente, especialmente indicada en el marco de la mecánica cuántica y la teoría de la interpretación cósmica. Vemos como la evolución del conocimiento impele los marcos de interpretación que crecen como mosaicos que van engranando en el ámbito teórico y que sugieren todo tipo de experiencias materiales. Buscando el basamento científico que se resiste a desvelar su intimidad.

El positivismo es una corriente filosófica que se originó en el siglo XIX con el filósofo francés Auguste Comte. El positivismo sostiene que el conocimiento válido y significativo solo puede obtenerse a través de la observación empírica y el método científico. Por tanto, el positivismo busca explicar la realidad utilizando enfoques

científicos y empíricos, basados en hechos observables y verificables. El positivismo establece una realidad objetiva e independiente de nuestras percepciones y creencias, accesible a través de la observación y el análisis científico; considera imperativo el empirismo: sosteniendo que el conocimiento se adquiere a través de la experiencia sensorial y la observación, de lo que deriva que la realidad solo puede ser comprendida y explicada a través de datos empíricos y observaciones; recurre al Método científico como la principal herramienta para comprender la realidad aprovechando que el método científico incluye la formulación de hipótesis, la realización de experimentos y la interpretación de datos para llegar a conclusiones y formular teorías basadas en la evidencia; adopta el requerimiento de Verificabilidad, por el que las afirmaciones sobre la realidad deben ser verificables mediante experimentos y observaciones empíricas y en caso contrario si no pueden ser sometidas a verificación empírica se consideran sin sentido o irrelevantes desde el punto de vista positivista; finalmente Rechaza las explicaciones metafísicas o sobrenaturales de la realidad, requiriendo explicaciones basadas en hechos y leyes naturales, de forma que los conceptos metafísicos o sobrenaturales no son considerados válidos ni útiles para entender la realidad desde una perspectiva positivista. En suma, para esta corriente filosófica la realidad es objetiva y puede ser comprendida a través del método científico y la observación empírica centrándose en la verificabilidad y el análisis científico para adquirir conocimiento sobre la realidad.

Las experiencias vitales se han considerado, desde siempre, como indicadores de la naturaleza de las cosas y de su evolución, al menos en el mundo material. El mundo espiritual resulta ser más dogmático, con honrosas excepciones, como la que exhibe del Dalai Lama que reúne anualmente a los científicos más destacados del mundo, desde los primeros momentos de su traslado forzoso del Tibet a Daramsala, en la India. Su objetivo es que como el mismo manifiesta, lo que la Ciencia ya ha evidenciado, hay que conciliarlo con nuestra (por la suya) espiritualidad, porque es lo más oportuno a hacer con todo aquello que se conoce bien. Qué lástima que, desde otras posiciones religiosas, no se tenga la misma visión.

La irrupción de la Cuántica ha venido a complicar todavía más las cosas. Los referentes de la nue4va mecánica son básicamente contraintuitivos. El papel del observador deja de ser pasivo. Poco a poco, conforme la tecnología permite acceder a niveles de profundidad conceptual más refinados, vamos conociendo aspectos que cada vez más ahondan en el indeterminismo y ponen de relieve aspectos que son contrarios a los que, hasta ahora, considerábamos firmemente establecidos. Para muestra un botón, como el que han publicado los miembros del equipo experimental austriaco de Innsbruck y otro teórico de Dinamarca, liderados por Ferlaino y Pohl, respectivamente, según los cuales un líquido cuántico conforma estructuras supersólidas mediante calentamiento, todo lo contrario de la experiencia vital sobre el efecto del calor sobre los estados de agregación de la materia.

Los supersólidos son un estado de la materia que combina propiedades de los sólidos y los superfluidos. En un supersólido, las partículas se organizan en una estructura cristalina, como en un sólido, pero también fluyen sin fricción, como en un superfluido. Esta fase de la materia fue propuesta teóricamente en la década de los sesenta del siglo pasado, pero su existencia fue objeto de debate en la comunidad científica durante mucho tiempo. En 2004, se anunció la primera evidencia experimental de la formación de un supersólido en helio-4, pero esos resultados fueron cuestionados posteriormente. Sin embargo, los avances en las técnicas de enfriamiento y manipulación de átomos ultracalientes lo que ha llevado a experimentos más convincentes, que evidencian la existencia de supersólidos. Las propiedades inusuales de los supersólidos, como la capacidad de fluir sin fricción, se explican en el marco de la mecánica cuántica. A temperaturas extremadamente bajas, las partículas de un sistema pueden comenzar a comportarse de manera coherente y formar lo que se conoce como un condensado de Bose-Einstein. Este fenómeno ocurre cuando los átomos bosónicos, que son un tipo de partícula, se enfrían hasta alcanzar temperaturas cercanas al cero absoluto, y entonces todos los átomos ocupan el mismo estado cuántico de mínima energía. En un supersólido, el condensado de Bose-Einstein se combina con una estructura cristalina. Los supersólidos podrían utilizarse para mejorar la eficiencia energética en sistemas de transporte o para desarrollar dispositivos cuánticos más avanzados.

Los superfluidos son un estado especial de la materia que se caracteriza por su capacidad de fluir sin experimentar ninguna fricción o viscosidad. Este fenómeno ocurre en ciertos líquidos a temperaturas extremadamente bajas, cerca del cero absoluto (0 Kelvin o $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$). La ausencia de fricción en un superfluido permite que fluya libremente a través de espacios extremadamente pequeños y alrededor de objetos sin perder energía cinética. El helio líquido, particularmente el helio-4, es el ejemplo más conocido de un superfluido. Cuando el helio-4 se enfría por debajo de una temperatura crítica de aproximadamente 2.17 Kelvin, se convierte en un superfluido en un proceso llamado transición de fase lambda. El helio-3, otro isótopo del helio, también puede formar un superfluido, pero solo a temperaturas aún más bajas, cercanas a 0.0025 Kelvin. El comportamiento de los superfluidos se puede explicar mediante la mecánica cuántica y la teoría de la superfluidez. En un superfluido, los átomos de helio se encuentran en un estado cuántico coherente, formando un condensado de Bose-Einstein (en el caso del helio-4) o un condensado de Fermi (en el caso del helio-3). Estos condensados permiten que las partículas se muevan juntas como una sola entidad macroscópica, lo que da lugar a sus propiedades únicas. Los superfluidos exhiben una serie de fenómenos interesantes, como la capacidad de escalar paredes y salir de recipientes abiertos (efecto de película), la capacidad de mantener un flujo constante alrededor de un circuito cerrado sin disipación de energía (flujo persistente) y la capacidad de transportar calor de manera extremadamente eficiente (termomecánica cuántica). Las propiedades de los superfluidos han despertado un gran interés en la investigación científica y tienen aplicaciones en áreas como la criogenia, la física de baja temperatura, la detección de partículas y la investigación en física cuántica.

Los supersólidos son un campo de investigación relativamente nuevo y apasionante al presentar propiedades de sólido y superfluido simultáneamente. En 2019, tres grupos de investigación lograron demostrar por primera vez sin lugar a dudas este estado en gases cuánticos ultrafríos,

En 2021, el equipo de Francesca Ferlaino en Innsbruck, observó que los datos que un aumento de la temperatura favorece

la formación de estructuras supersólidas, lo que supuso un importante impulso para la teoría, que hasta entonces había prestado poca atención a las fluctuaciones térmicas en este contexto. Ahora, experimentalistas de Innsbruck y teóricos daneses han explorado la fluctuación térmica concluyendo que el calentamiento del líquido cuántico puede conducir a la formación de un cristal cuántico, de forma que al incrementar la temperatura se forman más fácilmente las estructuras cristalinas.

Los hallazgos, contradicen la observación cotidiana, como consecuencia de la naturaleza anisotrópica de la interacción dipolo-dipolo de átomos fuertemente magnéticos, en este caso disprosio (Dy), perteneciente a la familia de los lantánidos, metal plateado y blando que se oxida fácilmente en presencia de aire y agua. Se emplea en la fabricación de imanes de alta resistencia, concretamente en el ámbito de los vehículos eléctricos, dada la característica de soportar altas temperaturas sin perder sus propiedades magnéticas. También se emplea en la fabricación de láseres, para control de reacciones nucleares y en electrónica para disponer de dispositivos para almacenar energía de forma eficiente.

Básicamente, la realidad no sabemos ni cual es ni como es, por mucho que conjeturemos. Pero, en todo caso, solo con la conjetura no nos aproximamos suficientemente. Lo mejor que se ha propuesto para conceptualizar la realidad, ha sido inventado. Y sensibilidades, hay muchas. Lo cierto es que un líquido cuántico se vuelve sólido al calentarlo. ¡Ahí es nada!



DIMERIZACIÓN COMBINATORIA.

La dimerización combinatoria es un proceso en el cual dos moléculas diferentes se combinan para formar un dímero. Este proceso puede ser espontáneo o puede ser iniciado por un catalizador. La dimerización combinatoria es un concepto importante en química orgánica y bioquímica, ya que puede llevar a la formación de nuevos compuestos que no existían previamente.

En la Química Orgánica, la dimerización combinatoria se utiliza para crear moléculas más grandes y complejas a partir de moléculas más pequeñas. Por ejemplo, dos moléculas de etileno pueden dimerizarse para formar buteno, y dos moléculas de ácido acético pueden dimerizarse para formar anhídrido acético. En Bioquímica, la dimerización combinatoria es común en la formación de proteínas y otros compuestos biológicos. Por ejemplo, las proteínas homodiméricas están compuestas por dos unidades idénticas, mientras que las proteínas heterodiméricas están compuestas por dos unidades diferentes.

En resumen, la dimerización combinatoria es un proceso importante en Química y Bioquímica, que puede conducir a la formación de compuestos más grandes y complejos a partir de moléculas más pequeñas. La dimerización combinatoria también es importante en la síntesis de polímeros, en que se combinan monómeros para formar polímeros. La polimerización se puede iniciar mediante una variedad de catalizadores, como radicales libres, ácidos, bases y enzimas.

Además de la formación de compuestos más grandes, la dimerización combinatoria también se puede utilizar para controlar la selectividad en la síntesis de compuestos. Por ejemplo, para controlar la posición relativa de los grupos funcionales en la molécula resultante. En Biología, la dimerización combinatoria puede ser importante en la regulación de la actividad enzimática y de la expresión génica. Las proteínas pueden formar complejos diméricos para

controlar su actividad enzimática o para regular la expresión de genes específicos.

El mecanismo que emplea un represor es el de un reloj operativo en el interior de una célula. Se generan oscilaciones en la concentración de sus proteínas. Los relojes circadianos son un buen ejemplo del mecanismo aludido. Las oscilaciones son un proceso muy generalizado en el entorno científico y biológico, también. Un represor está integrado por tres proteínas que actúan en cadena, controlando cada una de ellas a la siguiente. La primera de ellas, reprime a la segunda que, a su vez reprime a la tercera y finalmente la tercera reprime a la primera, cerrando el circuito. El mecanismo de actuación se plasma en el esquema siguiente: supongamos que tenemos mucha concentración de la proteína 1 (represor), esto conllevará reducir la expresión de la proteína 2 (represor), por lo que se generará menos de esta segunda. Imaginemos, que, en un caso límite, desaparece la segunda, lo que activará al represor 3, cuya concentración aumentará, lo que hará disminuir la del represor 1. Es decir, un cambio en la proteína 1, tras la propagación, realimentará el circuito repercutiendo negativamente en sí mismo, aunque habiendo introducido un retardo. Es una oscilación que se mantendrá, por ejemplo, a medida que la célula crece y se divide.

Hay una evidencia experimental conocida, que se debe a Chalfie que clonó en los años noventa una proteína verde fluorescente, que era un gen de medusa que producía esa proteína. La proteína clonada la expresó en bacterias y evidenció que un solo gen bastaba para crearla. El interés es que a través de la fluorescencia se podía seguir lo que sucede en el interior de la célula.

Elowitz tomó los genes de las tres proteínas represoras y agregó la proteína verde fluorescente, que quedaba controlada por una de las tres proteínas y pudo registrar las oscilaciones de las células. Estrictamente hablando, se trata de un sistema dinámico, cuyo comportamiento depende de las concentraciones y se refleja en las soluciones del sistema de ecuaciones diferenciales que gobiernan el proceso. Se trata de encontrar las soluciones que implican la estabilidad del sistema. Puede darse que, con una pequeña concentración de cada una de las proteínas, el sistema se mantenga y sea autoconsistente y puede ocurrir que el circuito

sufra altibajos generando oscilaciones. Encontrando las soluciones del sistema de ecuaciones diferenciales, obtenemos la variación de las concentraciones con el tiempo. Básicamente, tenemos una ley que indica cómo cambia cada una de ellas con las otras. Un análisis de estabilidad lineal desvela que, en este caso, solamente hay una solución estable. Quiere decir que, si el circuito alcanza ese punto, allí se queda. Si es estable, así es, si es inestable lo desvelarán las oscilaciones, ya que separado algo de esa posición, volverá a ella. Esto es lo que ocurre con los sistemas estables o estacionarios.

Ahora bien, en determinadas condiciones se vuelve inestable y describe lo que se denomina ciclo límite donde sigue orbitando indefinidamente, porque es el único comportamiento estable o no estable, pero el único que tiene. Si en la célula ocurren cosas incontrolables que la perturban alcanza ese ciclo límite donde oscila. La degradación es connatural con la oscilación. Los represores tienen esa solución de ciclo límite. Si los genes se expresan y las proteínas son inestables y se degradan rápidamente dentro de la célula, el circuito más probable es el ciclo limite y la oscilación.

Estas cuestiones son de sumo interés porque uno de los interrogantes científicos básicos es cómo se explica que células con el mismo genoma todas, se diversifican en todos los tipos posibles conocidos. En concreto, cómo pasar de las células madre a células sanguíneas óseas o inmunitarias, por ejemplo. Cómo se ve la diferenciación es uno de los grandes retos a desvelar, que está en el subsuelo de la complejidad. Abstrayendo, células con el mismo genoma existen en diferentes estados estables. En el contexto de la dinámica de sistemas se trata de estados que definen atractores estables. Cuando se da una perturbación en la concentración de uno de los componentes, como se trata de un estado estable, volverá a él. Hay que encontrar respuesta a como los circuitos pueden generar múltiples atractores, donde darán distintos puntos estables.

En el contexto de la evolución, la complejidad aumenta. Otra cosa es que, aunque un ser más complejo puede tener muchos más tipos de células que otro inferior, por ejemplo una persona con respecto a un mosquito, puede darse que usemos los mismos tipos

de genes y proteínas para generar los mismos tipos de células. Esto desvela el hecho de que en los circuitos de control celular naturales se da la escalabilidad. El tiempo determina los nuevos destinos conforme el organismo se desarrolla. La intrínseca multicelularidad implica que una célula puede formar parte de muchos estados diferentes lo que implicará muchas propiedades.

El fondo de la multicelularidad pone de relieve aspectos básicos del comportamiento celular. Como caso paradigmático, el sistema de control implicado en los músculos incentivará a ciertos tipos de células madre a convertirse en músculo y a otros en neuronas y así hasta completar la panoplia de tipos de células de cada organismo. Lo sorprendente es que las proteínas que controlan la regulación de los genes, los represores o los activadores, son del mismo tipo, que las controladas. Pero los circuitos tienden a funcionar no de forma aislada como ocurre en las bacterias, sino que en los organismos multicelulares funcionan de forma concertada. Una proteína se dimeriza agregándose a otra copia de sí misma o a una copia de otra proteína. Pero se mantienen juntas en todas las combinaciones distintas. Son pares de proteínas que hacen cosas diferentes. Cabe que se unan entre sí y no unidas al ADN, que no hagan nada o que activen la expresión de una de las proteínas del par.

El diseño Multifate de Elowitz hace uso de la dimerización combinatoria y es un circuito que responde al diseño más simple que puede actuar de esta forma. Partiendo de un conjunto de proteínas: A,B,C, ... que pueden emparejarse consigo mismo, formando un dímero que puede activar la expresión de una de ellas. La cosa es que puedan emparejarse con las otras. Los dímeros de la misma proteína tienen actividad, pero los mixtos no. De esta forma la superproducción de una de ellas solamente absorbe a otra diferente, impidiendo que esta segunda haga algo, al quedar neutralizada. Cuando se simula un sistema dinámico de esta naturaleza se observa cómo se generan múltiples atractores, es decir estados estables. Con dos proteínas, A y B, se generan tres estados AA, BB y AB, uno que solamente produce A, otro que produce B y otro una proporción concreta de A y B juntos. Son estables y si los separamos del punto de estabilidad un poco, volverán a los estados estables. En el modelo de Elowitz todo lo ajeno a las proteínas conside-

radas se considera que está homeostáticamente allí asistiendo a la maquinaria que requieren los circuitos considerados, lo cual es una aproximación a la que son ajenos los sistemas naturales. Una de las dificultades de la Biología sintética es que la aproximación funciona siempre y cuando no se sobreexpresen demasiado las proteínas estudiadas para no alterar el comportamiento de la célula.

En el ámbito de la Biología sintética, resulta muy útil la aportación de Chalfie que, como hemos dicho, clonó en los años noventa una proteína verde fluorescente. Si tomamos una proteína A y le agregamos una proteína roja y a una B le adjuntamos una verde, se pueden observar las células y ver en qué estado están y como cambian con el tiempo, conforme las células crecen y se dividen. La cuestión es que agregando factores se obtienen más estados, que crecen exponencialmente con el número de proteínas. Una tercera proteína en azul nos permite abordar hasta siete estados y si añadimos una cuarta, llegamos a 15, En general $2^n - 1$ es el número de combinaciones distintas de n proteínas, que corresponde al número de estados posibles.

Es un campo fascinante el de la ingeniería de sistemas multicelulares. El sistema inmunológico está construido a partir de una gran variedad de células, desde las T hasta las B y las que se comportan como auténticas asesinas. Y todas ellas interactúan entre sí. La complejidad es notoria y las dificultades de diseñar un sistema inmunitario sintético conlleva la diversificación en muchos estados, muchas clases y poder concretar la especialización para concretar diferentes funciones. Un reto fascinante.



ALGORITMOS VERDES

El debate está abierto. No hay día que pase que no se publique alguna noticia sobre Inteligencia Artificial (IA), incluyendo aportaciones nuevas, propuestas metodológicas nuevas o, con más frecuencia, comerciales. No faltan las reflexiones sobre la incidencia en aspectos sustanciales o menos significativos. El mundo de la educación está alerta por las informaciones que se agolpan sobre el impacto previsible, aunque parece permanecer al margen, como si no fuera con él. En todo caso la expectación es máxima en todos los sectores de actividad. Los líderes industriales, cuyos intereses son los suyos, generalmente económicos, nos asaetean con sus cuitas, siempre relacionadas con las operaciones de marketing en un intento, una vez más, de acaparar el mercado. La verdad es que, de nuevo, pensamos menos de lo que debiéramos y hacemos bien poco en ninguna dirección. La historia se repite.

Tras las alucinaciones sobrevenidas con las promesas de un mundo más fácil, van apareciendo elementos de reflexión, en casos, pasados por alto pese a su importancia, a veces, extrema. Surge un movimiento, consecuencia de meditar tratando de superar la superficialidad con la que se trata el tema, sobre la adecuación, no ya de los sistemas físicos que soportan la IA, sino acerca del comportamiento del software que los anima. Irrumpe el concepto de Algoritmos verdes. Ciertamente un factor a considerar es la eficiencia energética en la computación. Como nos solemos situar a una distancia de las cuestiones, un tanto frívola, no reparamos en si los algoritmos diseñados pretenden minimizar el uso de recursos computacionales y reducir el consumo de energía. Debiera tratarse de optimizar los algoritmos para que minimicen el número de operaciones a realizar, así como manejar la memoria de forma más eficiente o reducir el número de datos a transmitir a través de la red. Hace mucho que abandonamos la sobriedad de los primeros tiempos del desarrollo de la computación, al disfrutar de recursos en cantidades estratosféricas. Las grandes bases de datos, esas acogidas bajo el barbarismo de Big Data, son una referencia al derroche con el que nos movemos en el mundo de la computación al

tener acceso a potencias de cálculo y almacenamiento de datos en cuantías increíblemente grandes. Olvidamos la servidumbre de que este disfrute tiene su coste y nunca es gratuito el impacto negativo. Tampoco en este caso.

Es imprescindible que en el contexto en que nos encontramos enfoquemos la importancia de la computación sostenible que pueda garantizar el respeto al medio ambiente. Una aplicación ejemplar de los algoritmos sería ayudar a optimizar la generación y distribución de la energía renovable, prediciendo el impacto medioambiental de las distintas actividades o ayudar a diseñar producto y procesos más respetuosos con el Medio Ambiente.

Merece la pena una reflexión acerca del consumo energético que implica un modelo de lenguaje generativo como GPT en sus distintas versiones. El consumo energético de un sistema de este tipo depende de varios factores, naturalmente, desde el tamaño del modelo a la calidad de los datos con los que se le entrena, cuánto se utiliza y cuál es la eficiencia de los equipos que lo trabajan. La fase de entrenamiento es la central en un análisis sobre estas cuestiones. Esta fase puede ser muy intensiva en relación al consumo de energía, dado que implica el tratamiento de grandes cantidades de datos sobre unos equipos de alto rendimiento y durante periodos de tiempo prolongados. Como ejemplo valga una muestra como el dato de que OpenAI informó que en el entrenamiento de GPT.3, que es una versión primigenia, requirió varios gigavatios-hora, que es mucha energía (La Región de Murcia puede suministrar en torno a 8 Gigavatios-hora anualmente). Una vez que se supera la fase de entrenamiento, ya en la fase de inferencia, el consumo es mucho menor, dado que en esta fase se aplican los patrones que aprendió el sistema y no suele darse que aprenda nuevos patrones a partir de grandes cantidades de datos. Recordemos que GPT en sus diversas versiones advierte que su base de datos se limita a septiembre de 2021. Con fecha 17 de marzo de 2023, se da la referencia de lograr el ajuste fino de GPT3 con tan solo 2 GPU NVIDIA A100, ajustando con éxito un modelo BLOOMZ de tamaño GPT3 con parámetros 176B (denominado OCRL-BLOOM) con tan solo 2 GPU NVIDIA A100 (40 GB) para lograr una velocidad de ajuste fino de 3,9 tokens/seg/GPU. En cambio, para el entrenamiento, el superordenador desarrollado para

OpenAI es un sistema único con más de 285 000 núcleos de CPU, 10 000 GPU y 400 gigabits por segundo de conectividad de red para cada servidor GPU. Las cifras son más que sorprendentes, porque para la versión GPT-4, con 1 millón de GPU y usando los datos anteriores, se necesitarían aproximadamente 2650 años para entrenar el modelo. Entonces, así es como podría verse GPT-4: tamaño similar a GPT-3, pero entrenado de manera óptima con 10 veces más datos y proporcionando una salida multimodal de texto, imágenes y sonido. GPT-4 ahora es "Multimodal", lo que significa que puede tratar imágenes y texto. Todavía no genera imágenes (como Midjourney o DALL-E), pero puede interpretar las imágenes que se le proporcionan. Por ejemplo, esto incluye el poder ver un meme y pronunciarse sobre por qué razón es gracioso. Hasta ahora, GPT-4 solo se basaba en sus datos de entrenamiento, que se actualizaron por última vez en septiembre de 2021. No estaba conectado al mundo exterior. Hoy, con complementos, puede acceder Internet.

Si nos preguntamos por el coste de todo esto, las cifras son bárbaras. El costo de entrenamiento (capacitación) estimado de GPT-4 tiene un límite superior de 200 millones de dólares, usando 10,000 A100 durante 11 meses. Incluyendo costes de pruebas y errores, más los costes de investigación podría elevarla a 1500 millones de dólares. Naturalmente, dado que GPT-4 es más computacionalmente intensivo que los modelos anteriores, también es más costoso de usar en comparación con GPT 3.5 Turbo; Por ejemplo, GPT-4 cuesta hasta 0,03 dólares por 1K tokens en la etapa de uso en comparación con 0,002 dólares para el modelo GPT-3.5-turbo. La versión más reciente del sistema modelo de lenguaje de OpenAI, GPT-4, se lanzó oficialmente el 13 de marzo de 2023 con una suscripción que permite acceder a la herramienta Chat GPT-4. El acceso completo a las capacidades del modelo sigue siendo limitado y la versión gratuita de ChatGPT mantiene el uso del modelo GPT-3.5.

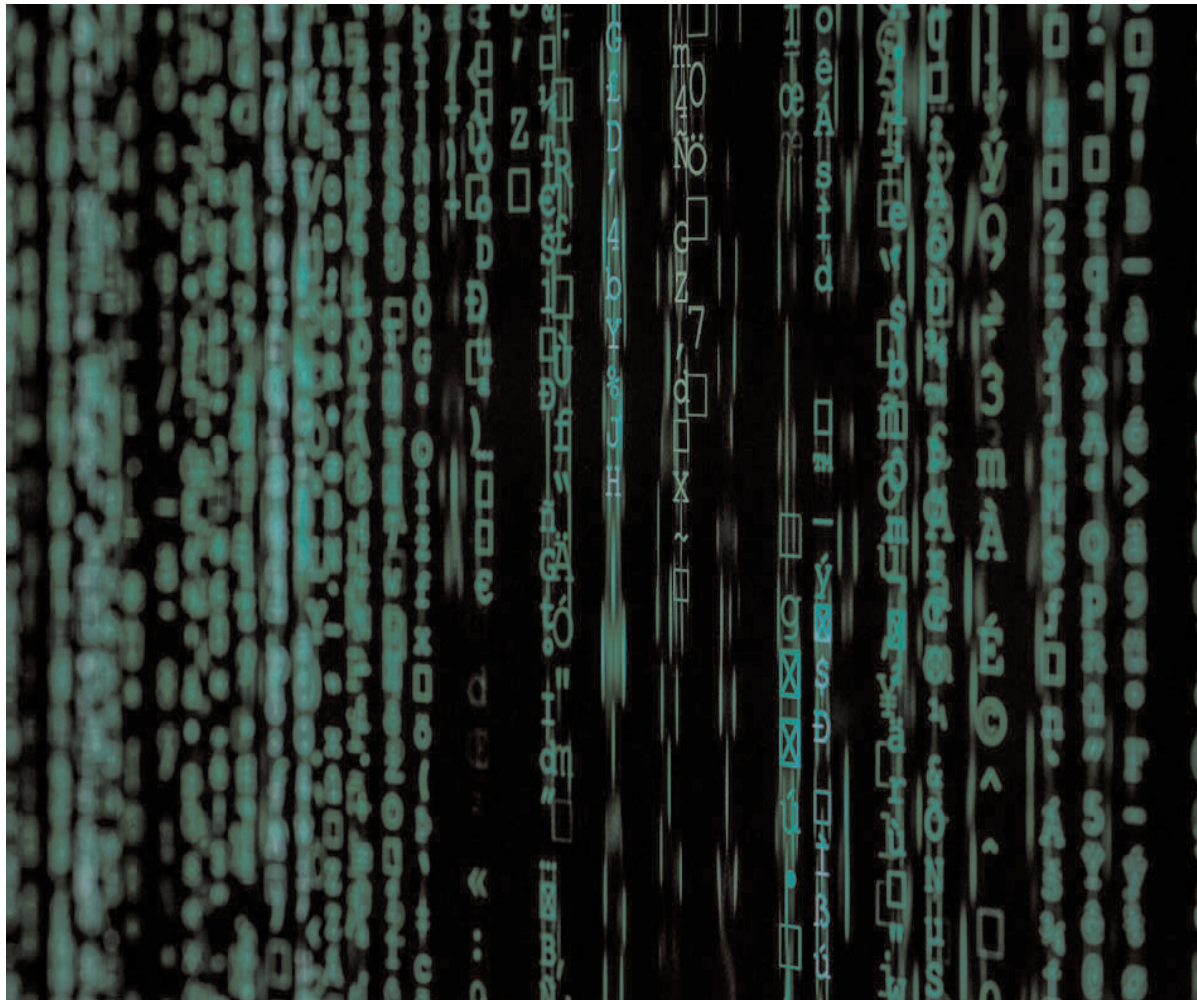
En este escenario, parece relevante la preocupación por optimizar los procesos complejos en los que se desenvuelve, de forma que no sea a costa, una vez más, de infringir daños a un Medio Ambiente suficientemente deteriorado. Desarrollar algoritmos "verdes" o eficientes energéticamente en inteligencia artificial

(IA) es un desafío importante y un área de investigación muy concurrida. La eficiencia energética es cada vez más importante a medida que las redes neuronales y los modelos de aprendizaje automático crecen en tamaño y complejidad y a medida que la IA se utiliza en más áreas de nuestra vida diaria.

Algunas estrategias para desarrollar algoritmos "verdes" en IA, incluyen: Una reducción del tamaño del modelo, ya que los más grandes requieren más potencia de cálculo y, por lo tanto, más energía. Se pueden reducir mediante la eliminación de las partes del modelo que contribuyen poco al rendimiento final, o a través de una "cuantización", que reduce la precisión numérica de los cálculos del modelo. Otro aspecto a considerar es utilizar técnicas de aprendizaje eficiente como el denominado aprendizaje federado, que permite que varios dispositivos o nodos aprendan de manera conjunta sin tener que transmitir grandes cantidades de datos, lo que puede reducir el consumo de energía. Un aspecto más a considerar es la optimización de los equipos incluyendo los chips específicos para tareas como las unidades de procesamiento de tensor (TPU) que emplea Google, más eficientes energéticamente para ciertos tipos de tareas de aprendizaje automático que las CPU o GPU de propósito general. También es preciso considerar el uso de energía renovable, ya que, aunque no siendo una solución al problema de la eficiencia energética en sí misma, utilizar energía renovable para alimentar los ordenadores puede ayudar a reducir el impacto medioambiental de la IA. Y, finalmente, consideraremos el diseño de algoritmos eficientes en energía, implicando la elección de algoritmos que requieran menos potencia de cálculo, la optimización de los algoritmos existentes para reducir su consumo de energía, o la investigación de nuevos enfoques para la eficiencia energética en la IA.

Finalmente, destacamos que la eficiencia energética solo es una parte del impacto medioambiental de la IA. Hay otros aspectos, también a considerar, como la producción y eliminación de los equipos, que no es un capítulo a despreciar en un escenario de algoritmos verdes que vigoriza la preocupación por no infringir más daños de los provocados hasta ahora en el Medio Ambiente. Son enfoques imprescindibles desde una perspectiva algo más humanista

de la irrupción de la tecnología en el ámbito de las personas. Para asignar el apelativo de inteligencia habrá que empezar por el principio. Es una norma inexcusable.



pensándolo bien...



DIGITALIZANDO LA QUÍMICA.

No necesariamente es una denominación acertada, pero intenta ser comprehensiva. Todas las tecnologías, de una forma u otra, inciden en las áreas científicas, tecnológicas y, en general en cualquier aspecto de nuestras vidas. Bien es verdad que innovar lo logra lo que la sociedad designa, tras evidenciar que supone un avance significativo en la línea de progreso y bienestar; mientras se da, tienen lugar las ocurrencias, ideas, inventos, prototipos, desarrollos, dispositivos y herramientas, que se suceden en una secuencia que no admite, casi nunca, tramos de recorrido en paralelo, sino que la secuencia impone una cadena a cumplir progresivamente. El seguidismo de las rotulaciones foráneas, ha popularizado el término innovación, que se aplica, incluso antes de que se dé la ocurrencia, independientemente de que alguna vez llegará o no a ser una realidad que la sociedad incorpore en su seno.

Ahora, estamos atravesando un momento en el que inciden con cierta virulencia tecnologías como la Inteligencia artificial, las grandes bases de datos, la robótica, la realidad virtual o la aumentada y la cadena de bloques que afectan de forma directa no solo a las disciplinas en las que se basan los desarrollos tecnológicos, sino directamente en la propia industria que se ve sometida a una transformación de calado. El Internet de las cosas, los gemelos digitales y cualquier otra versión de las aplicaciones contemporáneas afectan, también, al ámbito químico. El Consejo Europeo de la Industria química ha reflexionado sobre esta cuestión y ha plasmado en un informe las conclusiones. Es digno de destacar que es el primer informe que perfila cómo se emplean las tecnologías en el sector químico y como conviene emplearlos para que la producción química sea más sostenible. El propio título del estudio "Tecnologías digitales para la sostenibilidad en la industria química europea", ya lo indica de forma explícita.

Si hay algo que homogeneiza todos los sectores de actividad en relación con las nuevas tecnologías es que siempre operan primero y después se reflexiona y mucho después se legisla. Debiera ser al revés, pero es un estigma que no encuentra talento suficien-

te para invertirlo, nunca. No se puede hoy afirmar que la digitalización en el ámbito de la Química, sea algo nuevo. Podemos encontrar múltiples aplicaciones. Otra cosa es que, la introducción de tecnología en cualquier ámbito, haya implicado mejorar la sostenibilidad de la actividad. El informe llama la atención sobre ello y recomienda que hay que trabajar, codo con codo, con las administraciones para que, la aplicación de las tecnologías de la digitalización, constituya una oportunidad para mejorar estos aspectos.

Se reconocen cinco apartados en los que las tecnologías digitales pueden contribuir de forma positiva en la industria química de la Unión Europea.

1. diseño de procesos y producción para objetivos climáticos y de circularidad,
2. evaluación de la sostenibilidad,
3. posibilitar la circularidad de materiales y productos químicos mediante el seguimiento y la localización
4. diseño de productos sostenibles, y
5. logística y distribución seguras y eficientes.

La incidencia de estos aspectos no solo afecta a la industria química primaria, sino que afecta a las industrias derivadas. Induce la colaboración como fórmula de potenciar la digitalización. Por otro lado, hay que reconocer la exigencia de disponibilidad de datos, la interoperabilidad, la normalización y la ciberseguridad, que restringen el avance de la digitalización al suponer dificultades añadidas. Tampoco quedan fuera otras limitaciones derivadas de los costes financieros, la escasez de competencias digitales en la población susceptible de empleo en determinados niveles y ocupaciones y los problemas organizativos derivados. No cabe duda que el marco liberal de viejo y nuevo cuño, en el que desenvuelve actualmente el mundo económico, implica pocas soluciones, salvo para unos cuantos que disponen, desde la autoridad financiera, el curso de los acontecimientos. El resto de humanos, nos beneficiamos, algunos muy lateralmente y otros desde el papel de víctima que tienen asignado.

Se impone una alfabetización digital que logre desarrollar ciudadanos ilustrados digitalmente para poder quedar situados en una sociedad en la que es necesario participar y no solo ser espec-

tadores de cuanto ocurre. Ciudadanos alfabetizados que conozcan y estén advertidos de lo que usan, qué ventajas, inconvenientes y alternativas permiten optimizar su uso. Son retos que tenemos que concienciarnos que nos corresponden a los ciudadanos de un universo digitalizado que no puede ser esclavo de algoritmos interesados, desarrollados solamente desde el interés económico de unos pocos.

Como retos de la implantación de la tecnología digital en la industria química concretamos que la digitalización de la industria química puede aportar beneficios significativos, como una mayor eficiencia, mejores análisis de datos y una producción más sostenible. No obstante, no está exenta de desafíos. Algunos de los principales retos, desde la propia Inteligencia Artificial son:

1.Integración de sistemas: Muchas empresas químicas tienen sistemas de producción y de gestión de la información ya establecidos. Integrar nueva tecnología digital con estos sistemas puede ser un desafío técnico y logístico.

2.Seguridad de la Información: Con la creciente digitalización se suscita el aumento de los riesgos de ciberseguridad. La industria química, como muchas otras industrias, necesita asegurarse de que sus sistemas digitales sean seguros para protegerse contra posibles ciberataques.

3.Formación y desarrollo de habilidades: Muchos trabajadores de la industria química pueden no tener las habilidades necesarias para utilizar la nueva tecnología digital. Las empresas pueden necesitar invertir en formación para asegurarse de que su personal puede utilizar eficazmente estas nuevas herramientas.

4.Adaptación a nuevas regulaciones: A medida que aumenta la digitalización, también lo hace la regulación en torno a ella. Las empresas químicas tendrán que adaptarse a estas nuevas regulaciones, lo que podría requerir cambios significativos en sus operaciones.

5.Cambio cultural: La digitalización puede requerir un cambio en la cultura de la empresa. Los trabajadores y los gestores pueden tener que adaptarse a nuevas formas de trabajar y a nuevas mentalidades.

6.Inversión: La implementación de nueva tecnología digital puede ser costosa. Las empresas químicas tendrán que considerar cuidadosamente el retorno de la inversión antes de embarcarse en proyectos de digitalización.

.7 Interoperabilidad: Con la adopción de diversas tecnologías digitales, asegurar la interoperabilidad entre diferentes sistemas y herramientas puede ser un desafío.

8. Adaptación a la IA y el Aprendizaje de las máquinas: Estas tecnologías tienen un gran potencial para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la industria química, pero su implementación puede ser compleja y requiere un entendimiento profundo de cómo estas tecnologías pueden y deben ser utilizadas.

9. Sostenibilidad: A medida que la industria química se digitaliza, también debe considerar cómo puede utilizar la tecnología digital para producir de manera más sostenible y reducir su impacto medioambiental.

En general, la digitalización de la industria química presenta tanto oportunidades como desafíos. Sin embargo, con la planificación y la inversión adecuadas, las empresas pueden superar estos desafíos y aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece la tecnología digital.



ESPECTROSCOPIA DE IMPEDANCIA

La espectroscopía de impedancia, es una técnica que mide la impedancia o resistencia al flujo de la corriente alterna, en función de la frecuencia. Los entornos electroquímicos, de materiales o la propia Biología, son campos en los que es útil. Se basa en que los distintos componentes de un sistema se comportarán de distinta forma, en función de la frecuencia de la corriente alterna aplicada. El comportamiento de la impedancia de un condensador a alta y baja frecuencia es el inverso de aquélla. La resistencia y la capacitancia de una disolución cambian conforme progresa una reacción redox. Las células y los tejidos tienen propiedades eléctricas accesibles a distintas frecuencias. Un complejo entramado de modelos y análisis especializado, permiten obtener conclusiones sobre el comportamiento de un sistema.

La miniaturización ha llegado, también, a los sistemas complejos. Investigadores del Fraunhofer IZM, en colaboración con otros centros de investigación han construido un dispositivo, IoT, del tamaño de una pastilla, como un caramelo, resistente al agua y capaz de medir propiedades de los líquidos, lo que puede ser una ayuda importante para identificar averías en máquinas o formar parte de terapias o análisis para diagnósticos en el cuerpo humano. Nos trae a la memoria aquella película titulada "Viaje alucinante" (Fantastic Voyage, en inglés), de 1966, que en un alarde de ciencia ficción, un equipo de científicos es miniaturizado, junto con un submarino, para poder ser inyectados en el cuerpo de un científico moribundo con el fin de salvar su vida. Tuvo una repercusión importante, dado su concepto innovador y los efectos especiales que se utilizaron para representar el interior del cuerpo humano. Tuvo un gran impacto cultural y ha inspirado a muchos otros medios de comunicación, incluyendo otras películas, programas de televisión, y literatura, que exploran ideas similares. Por ejemplo, en 1987, se produjo una película llamada "Innerspace" (conocida como "Aventura en Miniatura" en español) que tiene una trama similar. En este caso, un piloto de pruebas de un vehículo experimenta, es

miniaturizado y accidentalmente inyectado en un hombre que andaba de compras en un supermercado. La trama se centra en el intento de recuperar al piloto y revertir la miniaturización antes de que sea demasiado tarde.

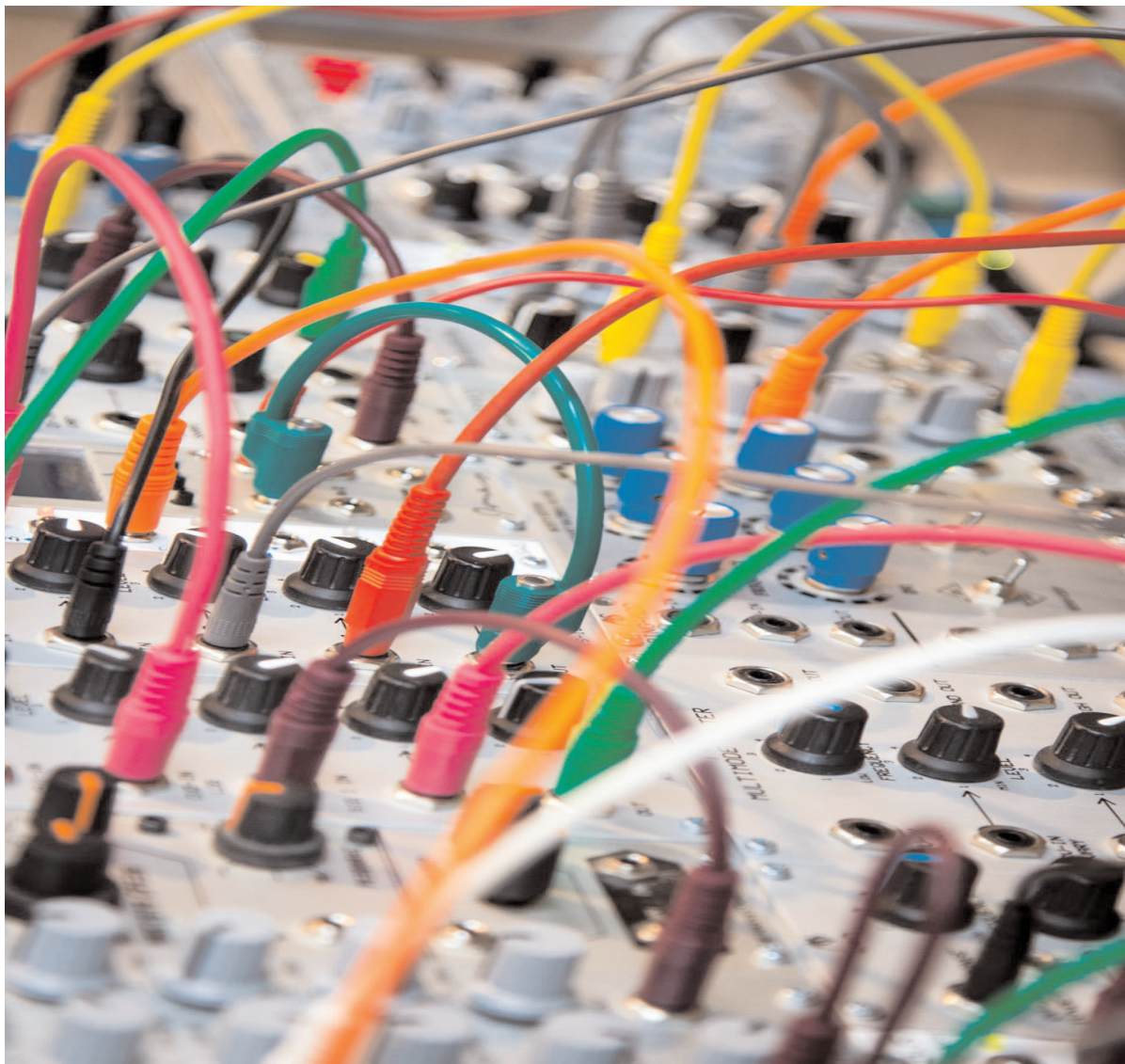
Cuanto más grandes son las máquinas, mayor es la dificultad para localizar una avería. Algo parecido ocurre con el cuerpo humano. Las técnicas macro son las usuales. En el caso humano, la colonoscopia o la gastroscopia son las operativas en cuanto hay que examinar la cavidad abdominal. La alternativa de la espectroscopia de impedancia, consiste en que se lanzan ondas de radio en un medio, desde un electrodo a otro y se obtiene un espectro de frecuencias en el que buscar cambios en las propiedades de un material o un líquido. Es una forma de detectar un cuadro clínico o la presencia de un proceso de corrosión, si se trata de materiales, por ejemplo. La aportación, ahora significativa, es la miniaturización. Sensores compactos, modulares, capaces de medir impedancias y transmitirlos inalámbricamente e impermeables, lo hacen ideal para ser biomédicamente compatibles. La forma de lograrlo ha sido empleando un polímero biocompatible y diseñar un dispositivo de solo 11 x 16 milímetros cuadrados, que incluyen dos electrodos y otros componentes, sensores de temperatura, presión e incluso sonido, así como parámetros sobre su propia configuración y características como la rotación, aceleración etc., o incluso sensores de luz integrados en el dispositivo. Todo un despliegue de elementos para ser capaz de identificar problemas en los lugares más recónditos.

Transmite los datos en tiempo real, de forma que se puede contrastar la información que conlleva, con la que debiera encontrar, a efectos de localizar la avería o deficiencia. Unos programas adecuados, incluidas App en móviles, permiten manejar bases de espectros de frecuencia de los fluidos más usuales, como agua o aceite para facilitar el análisis de los espectros.

La clave ha sido la miniaturización, integrando más de setenta componentes pasivos o activos instalados en una placa de circuito impreso flexible y biocompatible. Se empleó un polímero de cristal líquido, desarrollado en cuatro capas y en un espesor de unas 175 micras, próximas al tamaño de un cabello humano. Porta una

bobina de inducción para la carga de forma inalámbrica y se emplea una resina epoxi que aísla para evitar calentamientos al disiparlos al exterior. Los electrodos para la espectroscopía de impedancia se alojan en una placa cerámica de cuatro capas y unos 0,5 milímetros de espesor.

Las enormes posibilidades en la práctica médica justifican el esfuerzo realizado y auguran un avance de la tecnología médica digno de agradecer. Los sistemas inteligentes verán incrementadas sus posibilidades con la miniaturización de estos sistemas que incrementan la funcionalidad y potencian las posibilidades de aplicación. Las barreras de las dificultades se van superando día a día, y la Ciencia y la tecnología evidencian que nunca son insalvables.



pensándolo bien...



