

*Mercurio*



*Volante*

# > DESTINO :

COLONIZAR  
OTROS MUNDOS |



26

SUPLEMENTO ESPECIAL

**hipócrita**lector

Año II, Abril 2024

# CIENCIA Y ARTE: TENSIÓN AL MÁXIMO



La tensión entre arte y ciencia nunca cederá?, le pregunté alguna vez a Roald Hoffmann.

“Sin duda”, respondió, “la explicación de Newton sobre el ángulo de inclinación ( $42^\circ$ ) de la luz con respecto del horizonte a fin de que se produzca un arcoíris le agrega una dimensión nueva al acto de apreciarlo y entender lo que implica para nuestras emociones. Pero no tengas dudas de que la tensión está ahí... Quizá es peor en estos días, dado que la ciencia y la tecnología son ricas en recursos y metáforas, mientras que el arte sufre por ello.”

Poco antes de aquella plática había fallecido un querido colega y amigo suyo, Oliver Sacks, explorador y cronista de las partes más oscuras de la mente humana y notable pluma, quien se refiere a Roald con afecto en un libro autobiográfico intitulado *On the Move: A Life* (2015). De hecho, Sacks le dedicó dicha autobiografía.

“Aún viene a mi memoria su sonrisa aquel día en que le llevé una botella de acero con krypton, elemento recuperado en el laboratorio de la Universidad de Cornell por John Terry”, me aseguró Roald, visiblemente emocionado.

Y añadió: “Si bien Oliver era médico, los químicos estamos agradecidos con él por habernos mostrado el valor intrínseco de nuestra materia”.

Esto hubiese bastado para honrarlo. Sin embargo, siguió diciendo Roald, “cuando su enfermedad tomó un curso definitivo hizo algo más. Escribió la experiencia de morir con su puño y letra. Ya nos había mostrado en sus libros, de una manera que no imaginábamos, cómo opera la dignidad del enfermo. Ahora nos ha enseñado una forma de caminar en paz durante nuestra agonía, sin sensiblerías, simplemente contando la historia”.

No podemos menos que admirar el que haya hecho suya de esa forma la tabla periódica de los elementos. “¡Gracias a Oliver por habernos enseñado a amar la ciencia y la literatura!”, remató Roald.

Algunos de los libros de poesía escritos por Roald son: *The Metamict State* (Orlando: University of Central Florida Press, 1987), *Gaps and Verges* (Orlando: University of Central Florida Press, 1990), *Memory Effects* (Chicago: Calhoun Press, 1999), *Soliton* (Missouri: Truman State University Press, 2002).

Enseguida, las reflexiones de un viajero que se topa en sus correrías con las coincidencias y las divergencias entre la expresión escrita, las humanidades y la imaginación científica. (CCh).

*“...la explicación de Newton sobre el ángulo de inclinación ( $42^\circ$ ) de la luz con respecto del horizonte a fin de que se produzca un arcoíris le agrega una dimensión nueva al acto de apreciarlo y entender lo que implica para nuestras emociones. Pero no tengas dudas de que la tensión está ahí... Quizá es peor en estos días, dado que la ciencia y la tecnología son ricas en recursos y metáforas, mientras que el arte sufre por ello.”*



# EL ALQUIMISTA POETA

ROALD HOFFMAN

**C**omienzo con una visión unificada del trabajo creativo en la ciencia, el arte y las humanidades. El terreno que comparten está claro: actos de creación, logrados con habilidad, con atención al detalle. Tanto la ciencia como el arte aprecian la economía del lenguaje. En ambos casos existe el deseo de comunicar, aunque frecuentemente se ve oscurecido por la jerga y el ritual diluido del texto científico, en ciencia, o por un estilo demasiado personal y falto de consideración para con el público, en arte.



El acto creativo significa un cruce cultural, así lo creo, y altruista por antonomasia. La ciencia y una parte del arte tienen un común denominador estético, en el que caben, por ejemplo, lo simple y lo complejo. Un templo griego clásico es hermoso, al igual que una molécula con forma de dodecaedro. Pero también es bella una iglesia rococó de Baviera por su riqueza arquitectónica, como lo es la perfección enmarañada (en apariencia) funcional de la ribonucleasa.

Finalmente, el terreno común lo constituye un esfuerzo compartido y complementario para entender el mundo dentro y alrededor de nosotros.

¿Tengo que enumerar la división de fuerzas que neutraliza esa unidad? Charles P. Snow señaló muchas. Yo agregaría la tolerancia filosófica de mi científico de paja, que considera el reduccionismo como única manera de entender un mundo que, a todas luces, admite soluciones alternativas para todo, excepto para lo que sucede en sus horas de trabajo. También añadiría la falsa atribución de simplicidad en las humanidades de quien dice: "Si cualquier novato puede discutir sobre el libre albedrío, no puede haber mucha sustancia en la filosofía: ¡es solo cháchara!". Asimismo, debo mencionar el fracaso en aplicar fuera de dicha unidad normas estéticas que uno establece dentro de la propia ciencia.



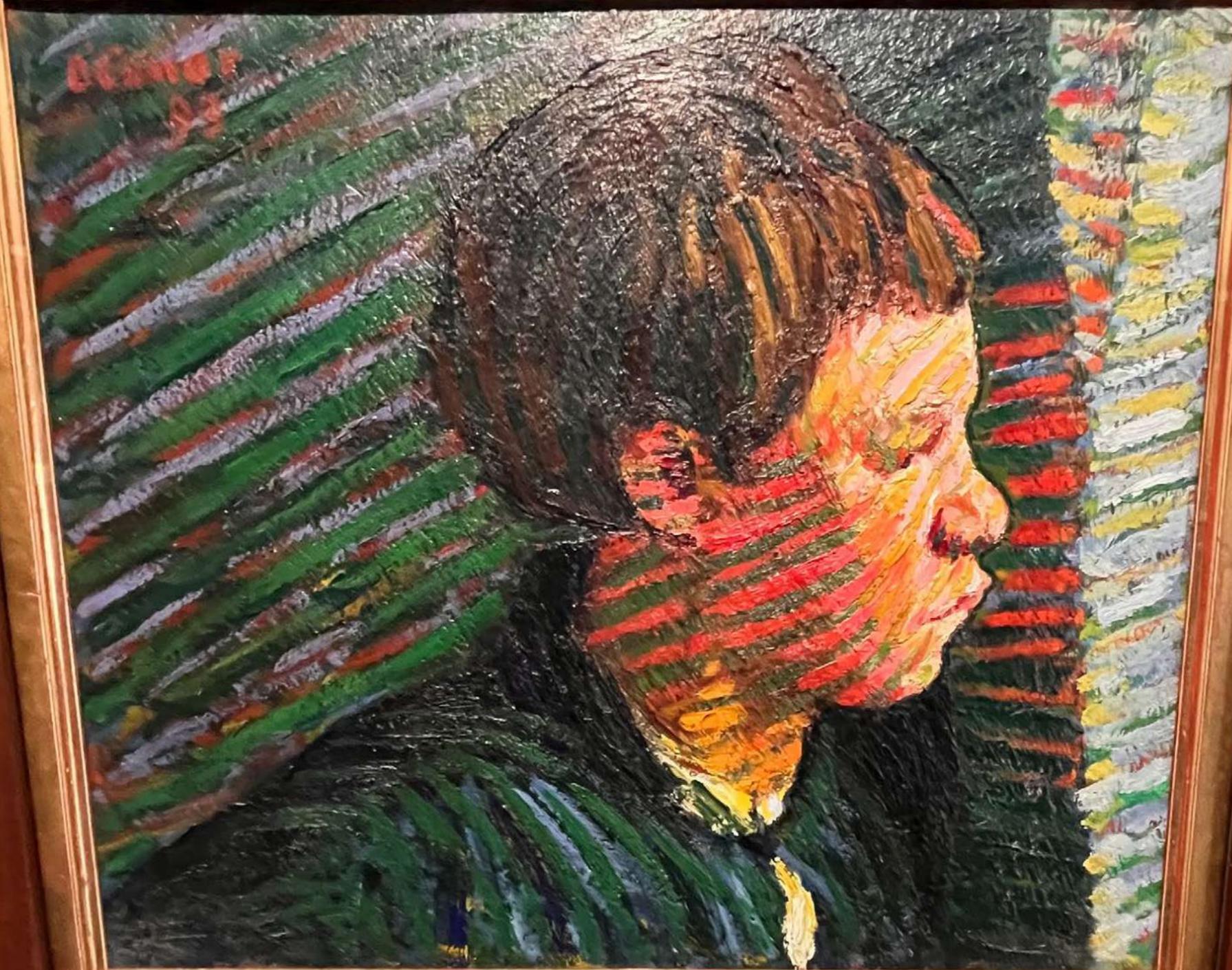


Si somos justos, podemos afirmar que el artista es igualmente culpable por su escasa disposición para esforzarse en el aprendizaje del idioma necesario que permite progresar en ciencia; han fracasado en reconocer que esa ciencia es a menudo simple sentido común hecho matemáticas.

Tal vez la unidad y la división, el a veces tenso, a veces complementario, a veces confluyente diálogo entre arte y ciencia, es por sí mismo un elemento estético. En cuanto a mí, no tengo ningún problema en hacer ciencia y poesía, o mejor dicho, en intentar hacer ambas cosas. Las dos surgen de un esfuerzo por entender el universo alrededor de nosotros, de mi propio amor personal por enseñar (=comunicar) lo que yo he aprendido, y de un entusiasmo por el idioma (el inglés, más otros idiomas que los accidentes geopolíticos hicieron entrar en mi cabeza).

Amo las palabras, sus definiciones y orígenes, las relaciones entre ellas, el poder que ellas tienen sobre nosotros, su habilidad obvia de comunicar significado a pesar de una circularidad inherente en sus definiciones. Me parece obvio usar las palabras de la mejor manera para enseñarme a mí mismo y a mis compañeros acerca del mundo.

Hay quien llama a esto investigar. O para enseñar a otros, a un público cada vez más amplio; hay quien lo llama enseñar. Las palabras son importantes en la ciencia, por mucho que nos empeñemos en negar su importancia, ya que son justo una representación de alguna realidad material. Yo escribo poesía para entender el mundo a mi alrededor, para comprender mis reacciones frente a él. Algunos de mis poemas pueden referirse a la ciencia, otros no.



● Roderic O'Conor, *Garçon breton de profil*, óleo sobre cartón, 1893.

Aun así hay varias razones por las cuales podría fomentarse la poesía que tiene que ver con la ciencia:

1. En la época de la Revolución Industrial, quizás como reacción a ella, tal vez por otras razones, la ciencia y su lenguaje abandonaron la poesía. La Naturaleza y lo personal se convirtieron en el principal terreno de juego del poeta. Una lástima tanto para los científicos como para los poetas, y mucho campo abierto.
2. ¿Si uno puede escribir poesía sobre el hecho de ser un leñador, ¿por qué no sobre el hecho de ser un científico? Es una experiencia, un estilo de vida, es emocionante.

3. El idioma de la ciencia es un idioma bajo tensión. Se crean las palabras para describir cosas que parecen indescriptibles en palabras (ecuaciones, estructuras químicas, etc.). Las palabras no logran, no pueden representar todo lo que ellas significan. Aun así, las palabras son todo lo que tenemos. Incluso bajo tensión, siendo un idioma natural, el idioma de la ciencia es inherentemente poético. Existen infinidad de metáforas en ese mundo de la ciencia. Emociones en forma de estados de la materia, y, más interesante aún, materia que representa lo que sucede en el alma.
4. Hay algo que claramente no es cierto, eso de que los científicos tienen una visión más profunda que la de los poetas en lo que se refiere al funcionamiento de las partes importantes del universo. Curiosamente, creo que muchos humanistas sienten en su fuero interno que les impedimos ingresar a ese tipo de conocimiento. Tal vez estén en lo cierto, ¡pero lo hacemos en porciones tan cuidadosamente circunscritas del universo! Lo poético se planea alrededor de lo tangible, en la oscuridad profunda, a través de un mundo que desvelamos y creamos.



---

**ROALD HOFFMAN**  
Químico de la  
Universidad de Cornell,  
obtuvo el premio Nobel  
de la especialidad en  
1981 por sus trabajos  
seminales acerca de  
la transformación  
estructural de las  
moléculas reales y  
probables. Entre sus  
numeroso libros se  
encuentra *Catalista*.  
*Poemas escogidos*,  
*Huerga y Fierro*, Madrid,  
2002.

Septuagésimo  
aniversario del CERN



# DESCUBRIR CONLLEVA UNA EMOCIÓN ESTÉTICA

GERARDO HERRERA CORRAL

**E**l Gran Colisionador de Hadrones (LHC) es la máquina de investigación científica más grande jamás construida. Este proyecto representa el esfuerzo colectivo de mayor alcance en la historia del conocimiento. Para hacerlo posible se ha requerido de la participación internacional y del esfuerzo de varias generaciones. El impacto de su alcance ha llegado a todos los ámbitos del quehacer humano. Sin embargo, el LHC es solo una parte del laboratorio más grande del mundo: el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN).





Para muchos, tener un laboratorio como el CERN representa un gasto enorme de recursos públicos. El presupuesto de mil doscientos millones de euros al año en algo que, aparentemente, está al servicio de la curiosidad humana, no siempre es bienvenido. Esta cantidad de recursos es casi la mitad de lo que se gastaron los equipos en la Liga Premier de Fútbol en Inglaterra el año pasado; de manera que no es despreciable, aunque sí incomprensible cuando se compara con la sencillez del balompié que todo mundo entiende.

El CERN cumple 70 años. Fue fundado en 1954 con la participación de 12 países europeos, y actualmente cuenta con el apoyo de 21 naciones que realizan aportaciones a los programas de investigación, además de muchos otros que, sin ser miembros o asociados, contribuyen en los experimentos.

¿Por qué lo hacen? ¿Por qué apoyar proyectos que buscan satisfacer la curiosidad humana? ¿Lo hacen porque piensan que la investigación científica es parte de la cultura de sus pueblos?

Los europeos se enfrascaron en una propuesta científica cuando se reedificaban después de la guerra, cuando se levantaban viviendas, se intentaba alimentar a la población, se restauraban hospitales y escuelas. Durante ese tiempo un grupo de científicos conversaba, proponía, imaginaba para que finalmente las gestiones llegaran a buen puerto en 1954, tras muchas diligencias y arreglos. Cuando comenzó la construcción todavía había prisioneros de guerra alemanes y japoneses.

*Para muchos, tener un laboratorio como el CERN representa un gasto enorme de recursos públicos. El presupuesto de mil doscientos millones de euros al año en algo que, aparentemente, está al servicio de la curiosidad humana, no siempre es bienvenido. Esta cantidad de recursos es casi la mitad de lo que se gastaron los equipos en la Liga Premier de Fútbol en Inglaterra el año pasado; de manera que no es despreciable, aunque sí incomprensible cuando se compara con la sencillez del balompié que todo mundo entiende.*



*Aun cuando la motivación principal tiene mucho de pacifismo, internacionalismo, cooperación y entendimiento entre los pueblos las actividades que se realizan en el CERN no solo ha generado conocimiento básico. Mucho de lo que se aprende termina como "spin off", esto es: "aplicaciones".*

El CERN representó entonces muchas cosas: era un proyecto pacifista de estudios nucleares cuando acababa de estallar una bomba atómica, una manera de retener el talento científico que seguía huyendo hacia los Estados Unidos, una manera de unir a los países en conflicto en un proyecto de interés general que busca el conocimiento sin fines de lucro, un lenguaje común, etcétera.

Pero quizás lo más importante era la visión de que aquella renovada búsqueda de prosperidad debía tener sentido. Y ¿qué sentido tiene un mundo nuevo si no consideramos que el bienestar conquistado es para que la gente se lance a imaginar nuevos paisajes, a perseguir la comprensión de la naturaleza, a crear nuevas maneras de ver y entender?

Aun cuando la motivación principal tiene mucho de pacifismo, internacionalismo, cooperación y entendimiento entre los pueblos las actividades que se realizan en el CERN no solo ha generado conocimiento básico. Mucho de lo que se aprende termina como *spin off*, esto es: "aplicaciones".



En el CERN se desarrolló la WWW que vino a cambiar nuestras vidas, y por eso es por lo que tenemos acceso gratuito a los portales que nos interesan. Su desarrollador recibió el apoyo de CERN para que este avance le perteneciera a la gente y no a los empresarios que podrían estar lucrando cada vez que usted abre un portal educativo, de servicios o entretenimiento.

También CERN es el lugar donde se inventó la pantalla táctil que está ahora en nuestros celulares. Fue en los años de 1970 que los ingenieros del laboratorio europeo inventaron la pantalla sensible al tacto para que fuera más sencillo controlar al acelerador que en aquel entonces era el de más alta energía: el Super Proton Synchrotron (SPS). El ingeniero Bent Stumpe ideó esta pantalla para el cuarto de control del acelerador.

En aquel entonces se depositaba por evaporación una delgada capa de cobre sobre una lámina flexible y transparente de mylar produciendo así el primer prototipo de pantalla táctil capacitiva. Esas pantallas táctiles estuvieron en operación en CERN desde 1973 hasta 2008 cuando se instaló el nuevo cuarto de control del Gran Colisionador de Hadrones.

*En el CERN se desarrolló la WWW que vino a cambiar nuestras vidas, y por eso es por lo que tenemos acceso gratuito a los portales que nos interesan. Su desarrollador recibió el apoyo de CERN para que este avance le perteneciera a la gente y no a los empresarios que podrían estar lucrando cada vez que usted abre un portal educativo, de servicios o entretenimiento.*



Hay una gran cantidad de desarrollos tecnológicos que se han dado en CERN y que ahora han encontrado uso en la medicina, la industria, la seguridad, el cuidado del medio ambiente, etcétera.

El multiplicador de electrones en gas, conocido en inglés como GEM (por sus siglas Gas Electron Multiplier) es un detector que se usa de manera intensa en los experimentos del CERN y que ahora ha sido incorporado en la imagenología médica, la biotecnología, el análisis de materiales, la medición de dosis en radioterapia, entre otros. Fue patentado por CERN y ahora cuenta con más de 50 licencias de investigación y desarrollo en el mundo. Este ingenioso dispositivo convierte la radiación recibida en una señal eléctrica que proporciona mucha información a los que la analizan.

La tecnología híbrida de píxeles es otro ejemplo. Una empresa holandesa recibió en fechas recientes la tercera licencia de esta tecnología por parte de CERN. Con esto, los holandeses están profundizando en el potencial que trae consigo la idea original. Esta innovación está en la misma línea de aquel que marcó a la radiografía en color.

*Hay una gran cantidad de desarrollos tecnológicos que se han dado en CERN y que ahora han encontrado uso en la medicina, la industria, la seguridad, el cuidado del medio ambiente, etcétera.*

También los programas computacionales que se hicieron originalmente para el control del acelerador se están adaptando a las pantallas de la compañía LG, la compañía más importante del mundo en la construcción de paneles de cristal líquido. La empresa tiene su base en Corea y filiales en Polonia, China y México. Dicho sea de paso, esto pone a nuestro país como uno de los beneficiarios indirectos. El que las compañías que producen en suelo mexicano sean competitivas nos beneficia también.

Estos son solo algunas de las muchas ideas que encuentran su camino a la industria, la medicina y la conectividad social. Las aplicaciones que surgen de los proyectos científicos de CERN son muchos y muy variados.

No obstante, se trata de un laboratorio de investigación básica; y aunque uno siempre recurre a las aplicaciones para argumentar el sentido de mantener semejante infraestructura, son los hallazgos reconocidos con el Premio Nobel, los descubrimientos que han dado forma a nuestra visión del universo y la metodología de cooperación que ha probado ser efectiva, lo más relevante y profundo para el bienestar de todos.



---

**\*GERARDO HERRERA CORRAL**  
*Físico de la Universidad de Dortmund y del Cinvestav, es líder de los latinoamericanos en el CERN. Ha escrito diversos libros, entre ellos Antimateria. Los misterios que encierra y la promesa de sus aplicaciones, Editorial Sexto Piso, 2024.*



Septuagésimo  
aniversario del CERN

# EL VIEJO Y EL CERN

LORENZO DÍAZ CRUZ

Un hombre mayor caminaba despacio por los pasillos de la cafetería del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares, mientras un acompañante llevaba su charola de alimentos; buscaban la mesa donde lo estaban esperando. El rostro mostraba una sonrisa entre irónica y amable, la mirada dejaba ver el espíritu de un guerrero de la ciencia, siempre luchando por la verdad y la honestidad académica. Era un honor que ese profesor retirado, uno de los grandes expertos en la física de partículas elementales y de la teoría de los campos cuánticos, estuviera visitando este laboratorio, que él bien podría llamar su alma mater.

En los años 60 del siglo XX la comunidad de física teórica del mundo se jalaba los pelos tratando de formular una teoría correcta de la estructura básica de la materia, así como las interacciones que rigen el mundo subatómico. La generación de físicos de la Segunda Guerra Mundial había logrado formular la teoría de las interacciones electromagnéticas, encontrándose que dicha fuerza es el resultado del intercambio de una partícula llamada fotón, que en realidad también forman la misma luz. Esta teoría, conocida como electrodinámica cuántica, predijo la existencia de la antimateria, compañeros de la materia de su misma masa, pero de carga opuesta. En el caso del electrón ese compañero se llama positrón.



● Lorenzo Díaz Cruz realizando una estancia en el CERN.

Diez años atrás, durante la década de 1950, habían proliferado los hallazgos de nuevas partículas. Algunas se comportaban como el electrón, pero además participaban de una nueva interacción, la llamada fuerza débil. Dicha interacción hacía que el neutrón fuera inestable, con un tiempo de vida de unos cuantos minutos, al cabo de los cuales se convierte en un protón más un electrón. Adicionalmente, el físico austriaco Wolfgang Pauli propuso que debía existir un ente fantasmagórico que se conoce como el neutrino, cuya existencia se deduce por exigir que se cumpla la ley de conservación de la energía.

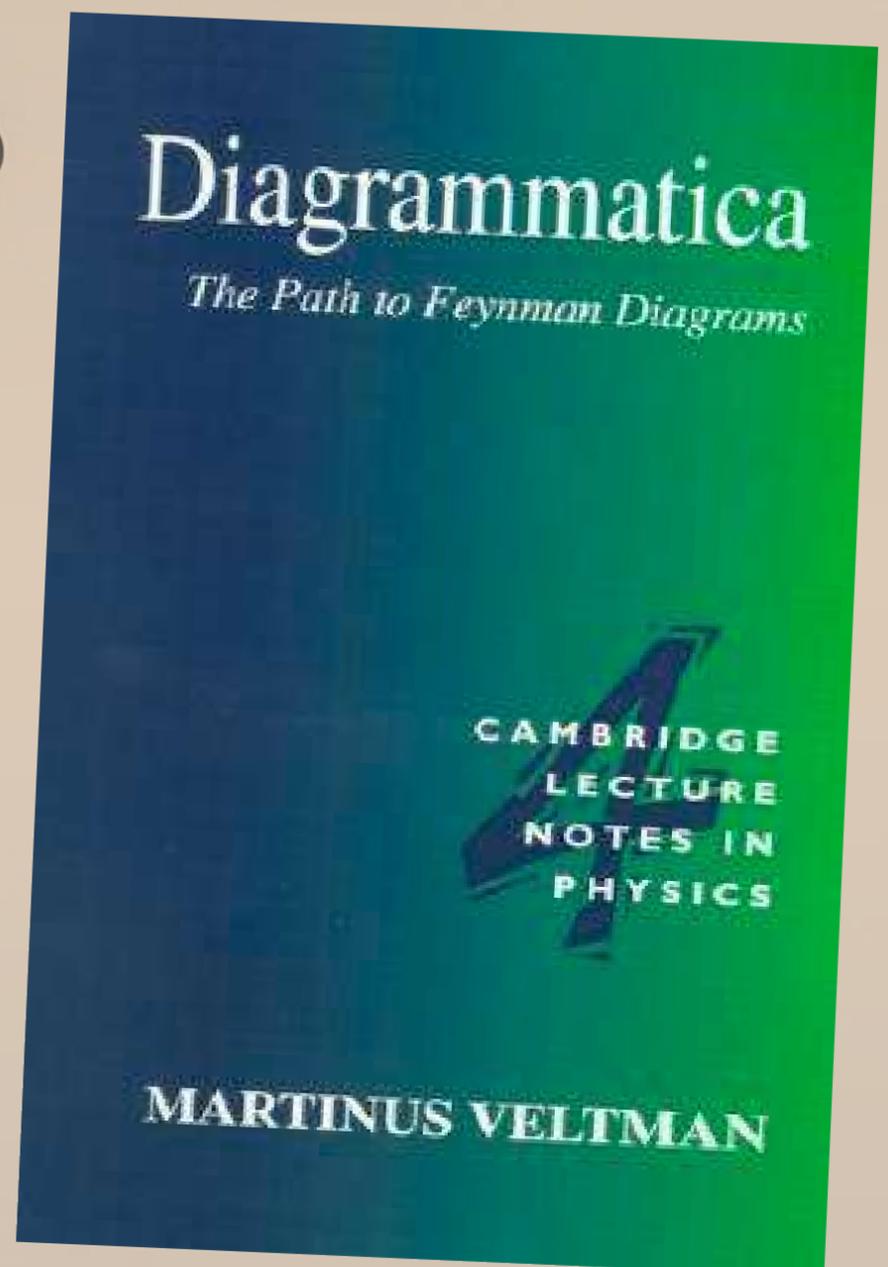
Por otro lado, para explicar la estabilidad del núcleo atómico, donde están juntos muchos protones que tienen carga eléctrica positiva, debía existir una fuerza de atracción que contrarrestara la fuerza de repulsión eléctrica. Esa es la llamada interacción fuerte. Ahora sabemos que el protón y el neutrón están formados de otras partículas, los llamados quarks.

*En los años 60 del siglo XX la comunidad de física teórica del mundo se jalaba los pelos tratando de formular una teoría correcta de la estructura básica de la materia, así como las interacciones que rigen el mundo subatómico. La generación de físicos de la Segunda Guerra Mundial había logrado formular la teoría de las interacciones electromagnéticas, encontrándose que dicha fuerza es el resultado del intercambio de una partícula llamada fotón, que en realidad también forman la misma luz.*



El camino para lograr entender esos fenómenos del mundo subatómico lo abrieron las llamadas teorías de Yang-Mills (YM), que generalizan la estructura matemática de la electrodinámica cuántica. Así, en lugar de tener un solo fotón, la teoría predice un arreglo de “fotones”, que son las partículas mediadoras de las fuerzas. Pero, ¿es una teoría o son muchas teorías? Podemos decir que el marco teórico es uno, pero hay muchas posibilidades específicas, esto es: se puede etiquetar la teoría con el tipo de simetría que contiene, mismas que habían sido estudiadas por los matemáticos tiempo atrás. Resulta que hay tantas teorías de YM como grupos de simetría, que son infinitos.

Además, para que estas teorías de YM fueran realistas, era necesario que algunos de esos “fotones” tuvieran masa. Tuvo que llegar la década de 1960 para que se descubriera un mecanismo que permite que las partículas adquieran una masa por medio de su interacción con el vacío, el llamado mecanismo de Higgs. Con dicho mecanismo se incluye la posibilidad de que el vacío, que es el estado de mínima energía, no respete las simetrías del sistema.



*Estas teorías de YM con un vacío “vivo”, mostraban una notable complejidad matemática y había que domesticarlas para que pudieran hacerse cálculos de las propiedades de las partículas, como probabilidades de colisiones o decaimientos.*



Sin embargo, estas teorías de YM con un vacío “vivo”, mostraban una notable complejidad matemática y había que domesticarlas para que pudieran hacerse cálculos de las propiedades de las partículas, como probabilidades de colisiones o decaimientos. Con ello se podría comprobar si dichas teorías podrían darnos una descripción correcta de la naturaleza a las escalas subatómicas.

Justo aquí intervino el genio de ese hombre que pasó casi desapercibido por la cafetería del CERN, el genial Martinus Justinus Godefriedus Veltman. En algún momento de su carrera, Veltman se convenció de que el problema central de la física de partículas de su tiempo era formular una teoría de las interacciones débiles, tan buena en su capacidad predictiva como la electrodinámica cuántica.

Lo primero que Veltman hizo fue convencerse de que el camino correcto para encontrar la teoría correcta era seguir explorando la estructura matemática de las teorías de Yang-Mills. Luego, sería necesario probar que todas las predicciones físicas son finitas, para que al final se pudiera comparar con los datos experimentales.

Veltman, junto con uno de sus estudiantes, Gerard t' Hooft, lograron arrancarle la cabeza de la Hidra a la teoría de campos cuánticos con rotura espontánea de la simetría. Con ello probaron que dichas teorías son renormalizables, esto quiere decir que se pueden manejar los infinitos que aparecen en pasos intermedios del cálculo de probabilidades de transición.

*Lo primero que Veltman hizo fue convencerse de que el camino correcto para encontrar la teoría correcta era seguir explorando la estructura matemática de las teorías de Yang-Mills. Luego, sería necesario probar que todas las predicciones físicas son finitas, para que al final se pudiera comparar con los datos experimentales.*



● Martinus J. G. Veltman (izquierda) acompañado de John S. Bell en el CERN, 1973. (Imagen: CERN).  
© 2014-2016 CERN

Para manejar el álgebra que aparece en dichos cálculos Veltman desarrolló su propio lenguaje computacional de álgebra simbólica, que llamó Schoonship, una muestra más de su versatilidad y capacidad técnica. Por todo ese trabajo monumental, 't Hooft y Veltman recibieron el premio Nobel de Física en 1999.

Cabe mencionar que conocí a Veltman en los años de 1980, durante mi doctorado en la Universidad de Michigan. A muchos estudiantes de todo el mundo nos atrajo el ambiente que había en el grupo de física teórica de esa universidad, encabezado por él. Todos soñábamos con emular, aunque fuera en una parte, el trabajo de G. 't Hooft. Una vez que llegué a la universidad supe que para trabajar con Veltman había que tener una formación casi de nivel doctorado y saber mucha computación. Así me convencí de que era mejor especializarme en la física del Higgs, en el contexto de las llamadas teorías supersimétricas. Entre los profesores del grupo estaba Gordon Kane, un especialista en el

tema, también de fama internacional, quien dirigió mi trabajo de doctorado.

Así pues, contento de haber coincidido con Veltman en esa cafetería del CERN, me le acerqué para saludarlo, aunque al principio el hombre parecía no reconocerme. Le dije mi nombre, que lo había conocido en Michigan. Entonces el rostro se le iluminó y me dijo:

—¡Ah sí!, ya recordé, ¡tú fuiste quien resolvió el problema del *vacuum alignment*!

Me dio gusto que recordara mi trabajo. Efectivamente, yo era el que había trabajado en ese problema, que surgió de una pregunta que me hizo él mismo. Sucedió que luego de completar mi doctorado realicé un posdoctorado en la Universidad Autónoma de Barcelona, y por azares del destino, antes de empezarlo, realicé una visita a la Universidad Autónoma de Madrid. Para mi sorpresa, también Veltman estaba de visita ahí, pues era muy amigo de otro legendario profesor español y físico teórico, Francisco Yndurain.

Durante varios días me tocó convivir con Veltman y el grupo de teoría de la Autónoma de Madrid, café, vino y cerveza animaban el lunch y las discusiones sobre temas diversos. Una de esas tardes Veltman me preguntó cómo es que el fotón seguía sin adquirir masa en modelos que contienen un sector escalar más allá del modelo estándar. Le dije que el vacío se elegía para que fuera así, pero que podría estudiarse qué tan general era eso. Me dijo que me recomendaba trabajar ese problema, que era muy importante, que él no lo hacía porque estaba muy ocupado. Me despedí con la promesa de que lo estudiaría, y así lo hice en cuanto empecé mi trabajo posdoctoral.

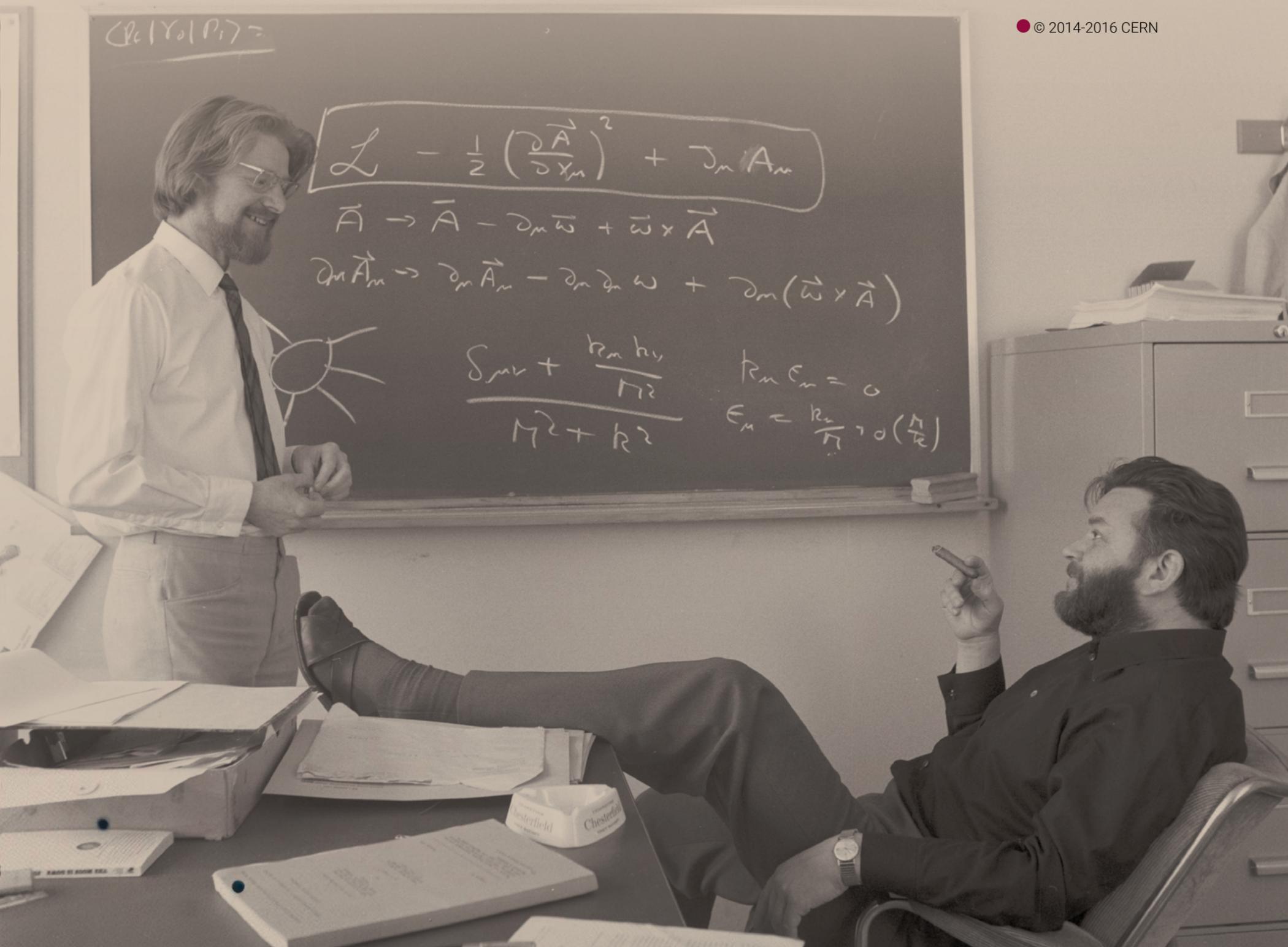
Terminé ese proyecto en menos de un año y logramos que se publicara en la prestigiosa revista *Nuclear Physics B*. Debo decir que ese artículo ("Vacuum Alignment in multi-scalar theories"), es sin duda uno de mis papers favoritos en mi carrera.

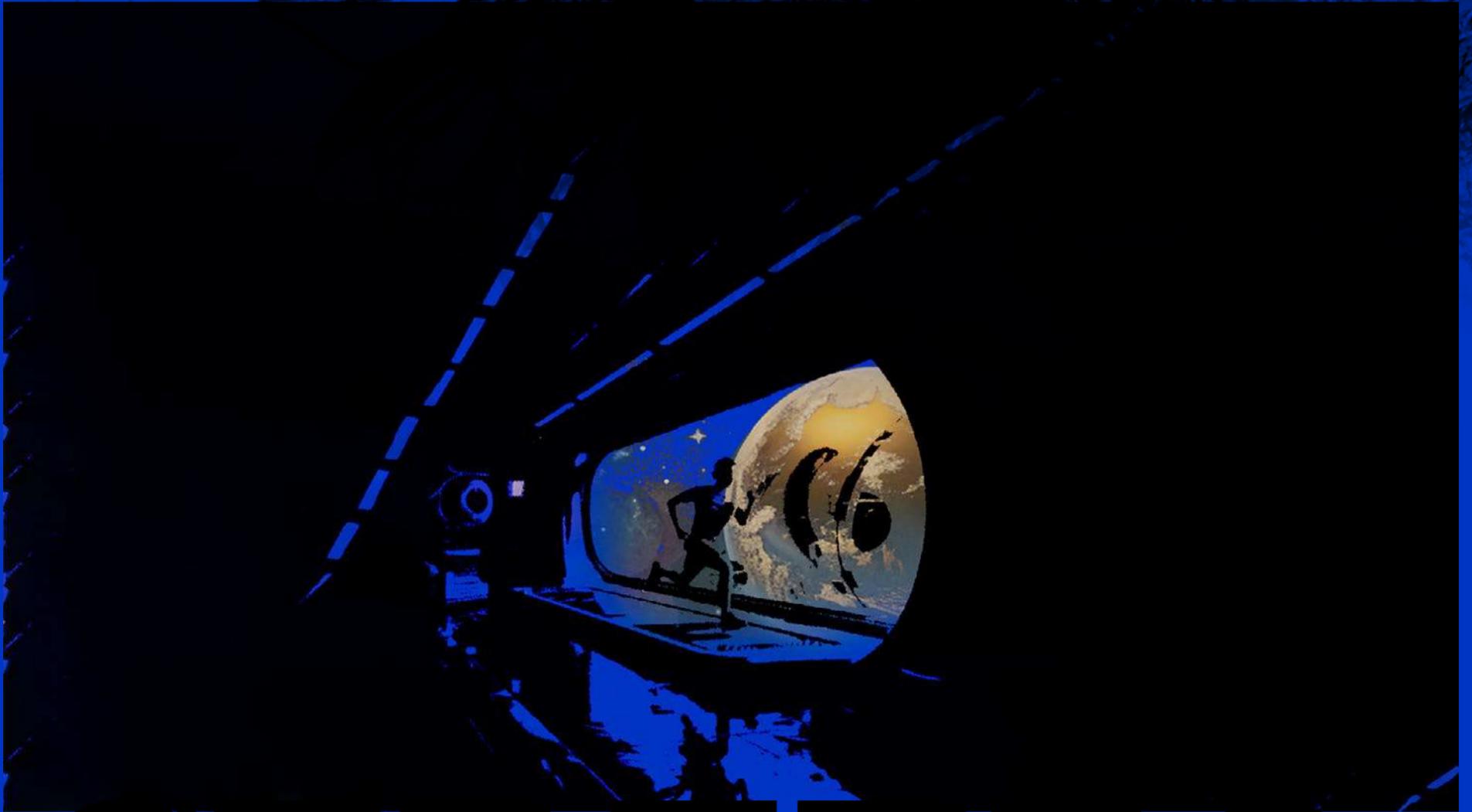


**LORENZO DÍAZ CRUZ**

*Es doctor en Física por la Universidad de Michigan. Obtuvo el Premio Estatal Puebla de Ciencia y Tecnología en 2009. Fue merecedor de la Medalla de la DPyC-SMF (División de Partículas y Campos, Sociedad Mexicana de Física) en 2003 por su trayectoria en física de altas energías. Pertenece al SNI Nivel III. Realizó estudios en temas de educación en el Seminario CIDE-Yale de Alto Nivel en 2016. Es autor del libro El muchacho que soñó con el bosón de Higgs.*

© 2014-2016 CERN





# CEREBRO ESPACIAL:

## posibles efectos del viaje interplanetario

MARIO DE LA PIEDRA WALTER

**U**na nueva carrera espacial ha comenzado, si es que alguna vez terminó. En septiembre de 1962 el presidente de los Estados Unidos, John F. Kennedy, anunció desde un estadio colmado - en la *Rice University* en Houston, Texas - la intención del gobierno de llevar a un hombre a la luna antes de finalizar la década.

La Unión Soviética, el gran antagonista de la guerra fría -al menos en la narrativa occidental- había lanzado con éxito, cuatro años atrás, el primer satélite artificial y, tan solo un año antes, el piloto Yuri Gagarin se convirtió en el primer cosmonauta en completar una órbita alre-

dedor de la Tierra en el *Vostok 1*, una cápsula de tan solo 2.30 metros de diámetro y 2,400 kg de peso.

Estados Unidos se encontraba a décadas de distancia, en términos tecnológicos, de su homólogo soviético y necesitaban de una victoria urgente. Algunos dirán ¿por qué la Luna? ¿Por qué elegirla como nuestra meta? y se preguntarán también, ¿por qué escalar la montaña más alta?, ¿por qué hace 35 años volar el Atlántico? Elegimos ir a la Luna en esta década, y hacer todas las demás cosas, no porque son sencillas, sino porque son difíciles reverberó en los altavoces y en la caja torácica de un público extasiado; mientras físicos, matemáticos e ingenieros se miraban con espanto.

Hasta ese momento no había indicios de que Estados Unidos pudiera emparejar la carrera espacial. Kennedy propuso, para restarle el aura competitiva, una misión conjunta con la Unión Soviética, pero esta idea se desechó tras su asesinato. Siete años y veinticinco mil millones de dólares después (257 mil millones ajustado a la actualidad) Neil Armstrong y Buzz Aldrin bajaron del módulo lunar *Eagle* y pisaron por primera vez la Luna.

Para los estadounidenses, el alunizaje no solo los consagró como una potencia aeroespacial, sino que inclinó la balanza de la guerra fría. A su entender, habían ganado la carrera espacial y estaban encaminados a ganar la carrera ideológica.

Comparado con los logros soviéticos, es difícil declararlos ganadores unánimes: el programa ruso, entre otras cosas, fue el primero en enviar seres vivos al espacio, realizar actividad extra-vehicular, contar con mujeres astronautas, orbitar un radiotelescopio, utilizar un rover en la Luna, enviar un robot a Marte y Venus y tener astronautas permanentes en una estación espacial.

Sin embargo, el poderío mediático de los Estados Unidos hizo del alunizaje, con mucha razón, el gran hito del siglo XX. En 1972 la NASA canceló el proyecto Apollo ante la falta de presupuesto. Gene Cernan fue el onceavo y último hombre en caminar sobre la superficie lunar, dejando tras de sí una huella, las iniciales de su hija sobre el polvo y toda una era.

Apenas en el 2021 el vocero de la principal empresa de cohetes en China, Wang Xiaojun, anunció un ambicioso plan para la primera misión tripulada a Marte en el 2033. Por su parte, la NASA ha estado desarrollando un programa para poner un humano en el planeta rojo en algún momento de la década del 2030. Mientras el sueño del viaje interplanetario vuelve a echar raíces en la imaginación colectiva, científicos tienen que lidiar no solo con el desafío tecnológico que esto implica sino con el posible impacto sobre el cuerpo - y el cerebro - de los exploradores.



Hasta la fecha, la misión más larga ha sido la del astronauta ruso Valeri Polyakov en 1994, a bordo de la estación espacial Mir, que duró 437 días (14 meses). La misión tenía por objetivo aprender acerca de los efectos de la microgravedad prolongada sobre el cuerpo humano. Después de completar más de 7000 orbitas y regresar a la Tierra, salió a pie propio de la cápsula y dijo: *ahora podemos volar a Marte*.

Según la NASA, una misión a Marte abarcaría aproximadamente 1100 días. Exploraciones más profundas dentro del sistema solar, en circunstancias nóveles y extremas, podrían llevar décadas. El desarrollo de problemas cognitivos o del comportamiento durante las misiones espaciales representan un gran riesgo para los tripulantes.

La evidencia empírica en animales demuestra que el aislamiento social, la inmovilidad y la gravedad alterada pueden afectar profundamente la capacidad regenerativa del cerebro (neuroplasticidad) y limitar las tareas visuoespaciales. Inherentemente hostil, el viaje espacial implica un ambiente lleno de estresores físicos y psicológicos como la radiación, niveles altos de dióxido de carbono, gran carga de trabajo, alteración del ciclo del sueño y aislamiento. Predecir sus efectos adversos en el cerebro y en la cognición puede ayudarnos a crear herramientas para contrarrestarlos.



En condiciones normales, el cerebro flota dentro de la bóveda craneana en un fluido conocido como líquido cefalorraquídeo, que - entre otras funciones - evita el contacto con otras estructuras y funciona como amortiguador. Durante el viaje espacial, en condiciones de microgravedad, el líquido cefalorraquídeo se redistribuye y el cerebro se presiona contra la parte superior de la bóveda.

Los ventrículos cerebrales, una especie de caverna dentro del cerebro por donde fluye también el líquido, se expanden a medida que incrementa el tiempo en el espacio y necesitan de seis a doce meses para regresar a sus niveles normales. Volúmenes ventriculares más elevados en astronautas se relacionaron con menor precisión en pruebas de manejo de símbolos.

En la Tierra, el aumento de los ventrículos cerebrales, la hidrocefalia normotensiva, causa alteraciones de la marcha, incontinencia y demencia (triada de Hakim-Adams). Se estima, además, que los astronautas necesitan al menos tres años de intervalo entre una misión y otra para que el cerebro recupere su capacidad de adaptarse a estos cambios.

Estudios después de misiones de seis meses en la Estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés) mostraron un decremento en la destreza manual, así como una alteración en la percepción del movimiento y de la navegación al regresar del espacio. Los efectos cognitivos pueden persistir incluso un año después de tocar tierra.



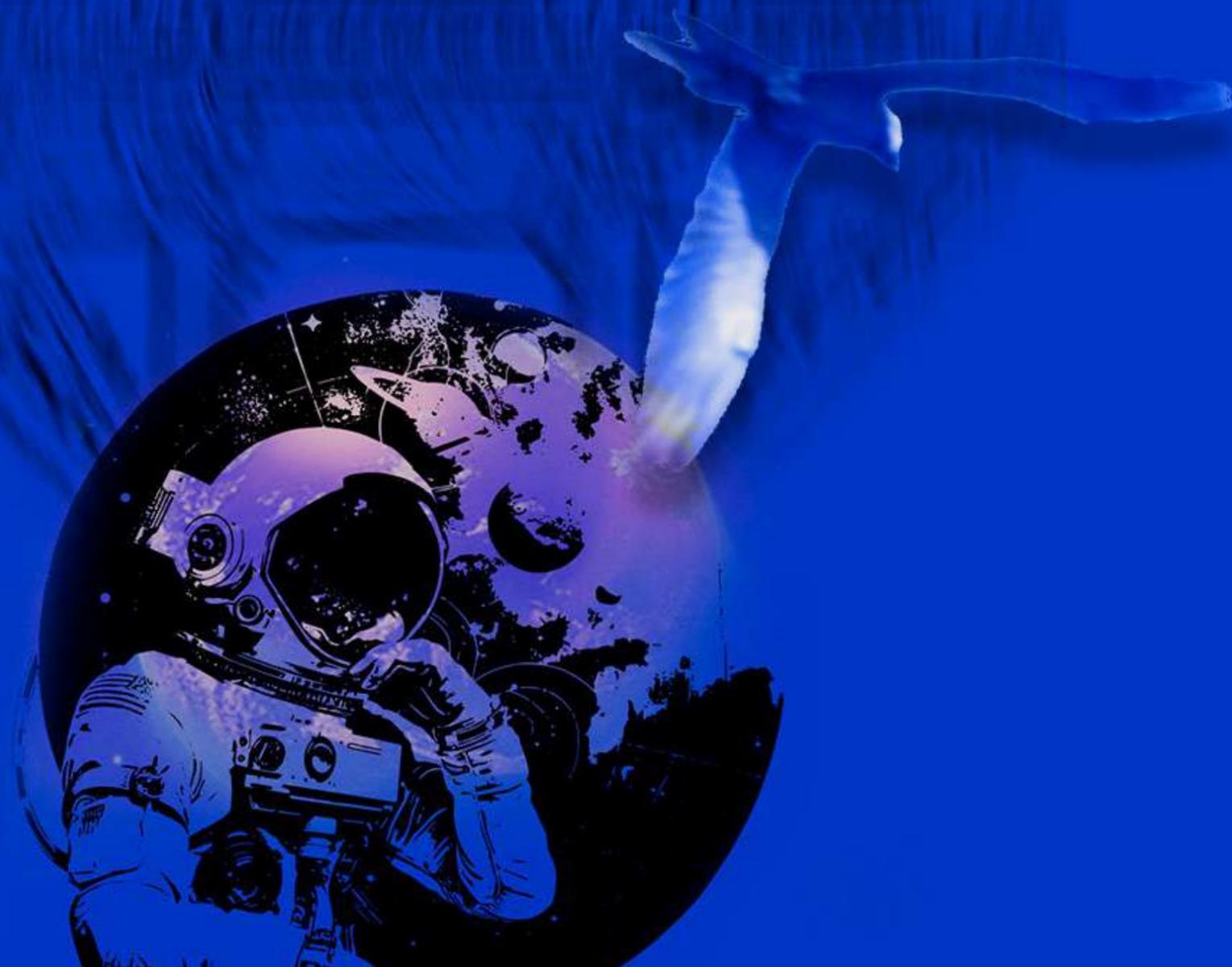
Alan Shepard, un astronauta estadounidense que alunizó en el Apollo 14, tuvo que abortar una caminata de exploración hacia uno de los cráteres porque estaba desorientado, a pesar de haber estudiado el mapa de la zona decenas de veces antes. Áreas cerebrales que se asocian con el procesamiento de información visuoespacial, entre las que destacan el hipocampo, la corteza estriada, parahipocampal y prefrontal, y el lóbulo occipital; es decir, el GPS de nuestro cerebro, son especialmente vulnerables a los estresores relacionados con el vuelo espacial. La radiación, por ejemplo, tiene impacto en la corteza prefrontal y el hipocampo, generando problemas en el aprendizaje y la consolidación de memorias.

La capacidad limitada de los sistemas de reciclamiento de aire en las naves espaciales incrementa los niveles de dióxido de carbono hasta diez veces más que en

la tierra. En modelos animales, esto afecta la plasticidad cerebral y el comportamiento durante etapas tempranas del desarrollo.

Afecta también la microgravedad el sistema vestibular, responsable de nuestro equilibrio y percepción de movimiento. Cristales dentro de los canales del oído interno, los otolitos, dependen de la gravedad para enviar información al cerebro sobre la aceleración lineal. Sin ella, el cerebro tiene problemas para evaluar la posición del cuerpo en relación con el entorno.

Los astronautas muestran también alteraciones importantes del ciclo circadiano, llegando a perder hasta una hora de sueño al día. La privación crónica del sueño causa degeneración del hipocampo, aumento en los niveles de las hormonas de estrés y pueden desencadenar síntomas psiquiátricos.



Finalmente, condiciones como la privación sensorial, el aburrimiento, la inactividad física y el aislamiento social conllevan a trastornos del comportamiento de entre los que destacan a agresividad y la depresión, además de mermar nuestras capacidades en el reconocimiento y solución de problemas.

Contra medidas específicas como el ejercicio en micro-gravedad, suplementos nutricionales y entrenamiento cognitivo haciendo uso de la realidad virtual podrían mitigar los efectos de los viajes espaciales en el cerebro. Los avances en la medicina y neuropsicología de las ciencias espaciales son igual de importantes que la tecnología que nos permitirá explorar el cosmos.

A poco más de 60 años de su famoso discurso, las palabras de Kennedy continúan haciendo eco en nuestro corazón - o cerebro - de primeros exploradores. Dejamos la comodidad del fuego y de la cueva para descubrir otros mundos, no porque sea sencillo sino por el contrario.



---

**\*MARIO DE LA PIEDRA WALTER**  
Médico por la Universidad La Salle  
y neurocientífico por la Universidad  
de Bremen. En la actualidad cursa su  
residencia de neurología en Berlín,  
Alemania.



#### Bibliografía:

- McGregor, HR. Hupfeld KE., Pasternak O. et al (20123). "Impacts of spaceflight experience on human brain structure". *Nature. Scientific Reports* 13:7878.
- Stahn AC., Kühn S. (2021) "Brains ins space: the importance of understanding the impact of long-duration spaceflight on spatial cognition and its neural circuitry". *Cogn. Process*; 22(1): 105-114.

● Imágenes creadas a partir de fotos e ilustraciones originales con asistencia de MidJourneyAI Premium. © CCh

# NUESTRA MISIÓN ES COLONIZAR EL UNIVERSO

## ENTREVISTA CON LORD MARTIN J. REES

CARLOS CHIMAL

**U**na de las características del hipermodernismo es la compulsión por hacer que todo sea visible. Rige una exacerbación de lo visual. Se construyen gigantescos telescopios, en tierra y fuera de ella; se diseñan fabulosos aceleradores de partículas y se afina su mirada. Incluso muchos, tanto astrofísicos como físicos de altas energías, han empeñado su vida en saber de qué están hechas la materia y la energía oscuras que sacian el universo conocido.

¿Por qué lo hacen y cuál es el propósito de fondo? Para conversar sobre estas cuestiones visité a lord Martin Rees por primera vez en el Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge, en 1993, luego en 1999. En 2016 volví a buscarlo. Ahora, gracias a su enorme generosidad, aceptó verme de nueva cuenta, esta ocasión en su modesto departamento dentro de Trinity College, en la misma ciudad de Cambridge, pequeño privilegio que se concede a los decanos ilustres.

Lord Martin, exdirector de dicho colegio, es asesor

de la Unión Europea en materia de exploración espacial y uno de los grandes astrofísicos de nuestro tiempo. Es admirado por su profunda comprensión del cosmos y sus ideas sobre el papel de la humanidad en ese vasto universo, así como por su sencillez de trato. Años más tarde, en marzo de 2018, fue él quien a nombre de la comunidad académica y científica pronunció la oración fúnebre durante las exequias de Stephen Hawking, en Cambridge, antes de ser llevado a Londres, donde descansan sus restos precisamente en la abadía de Wetsminster.

Debido a su contribución y la de otros avezados, como el mismo Hawking, quienes se han atrevido a meter su cabeza en el firmamento, ahora contamos con algunos indicios de que lo muy pequeño y su explicación, la mecánica cuántica, tiene vínculos con lo incuantificable por grande, el universo y su explicación, la relatividad de Einstein. Existe, pues, una escalera del universo con peldaños reales, esto es, con algunas evidencias experimentales e hipótesis coherentes.

La primera vez que conversé con lord Martin me habló de los neutrinos como buenos candidatos para tirar del hilo y encontrar una explicación a la presencia de materia invisible que nuestros artefactos son incapaces de detectar, pero que sabemos de su existencia debido, sobre todo, a sus efectos gravitacionales. ¿Qué opina hoy?

“Conocemos muy poco acerca de su naturaleza y mucho menos de su función en la estructura cósmica”, afirmó Rees. “Estamos seguros de que existen, pues su volumen es cinco veces mayor al de las partículas visibles en el universo. Sabemos algo de sus propiedades: no poseen carga eléctrica y son mucho más esquivas que los propios neutrinos”.

¿Se trata de partículas muy pesadas?, ¿las encontraremos en aceleradores como el CERN? “Parece remoto”, replicó lord Martin. De hecho, al dar su espaldarazo a la búsqueda renovada de inteligencia extraterrestre, sostuvo que cada vez es más escéptico de lo que pueden aportar los aceleradores de partículas. Pero quiso dejar claro que nunca debe descartarse un último as bajo la manga.

Al anunciarse la construcción en CERN del Colisionador Circular del Futuro (FCC, por sus siglas en inglés) también se dio a conocer el trabajo de un equipo internacional, cuyo proyecto SHiP (Search of Hidden Particles) intentará detectar las entidades fantasmales más allá del metro de distancia al punto de choque que hoy permite el LHC. Su idea es rastrear tales partículas a centenares de metros. Si todo marcha como está planeado, empezarán a tomar datos a mediados de la década de 2040.

Lord Martin se refirió a la aún más enigmática energía oscura, la cual permea el espacio vacío, si bien los cosmólogos piensan que el espacio que llamamos vacío no lo está del todo. Existen minúsculas fuerzas de repulsión cuya actividad a escala terrestre pasa casi desapercibida, incluso para un sistema solar como el nuestro. Pero a escala cósmica su influencia es notable.



Sabemos que la densidad de la materia con respecto a tal fuerza es muy baja, por lo que semejante fuerza débil genera una enorme repulsión, sobrepasando la actividad gravitacional. Esto hizo que la presencia de la gravedad consiguiera retardar la expansión del universo. No obstante, lo que observamos desde fines de la década de 1990 es que se está acelerando. Y eso, de alguna manera, catapultó nuestra necesidad hipermoderna de hacerlo todo visible.

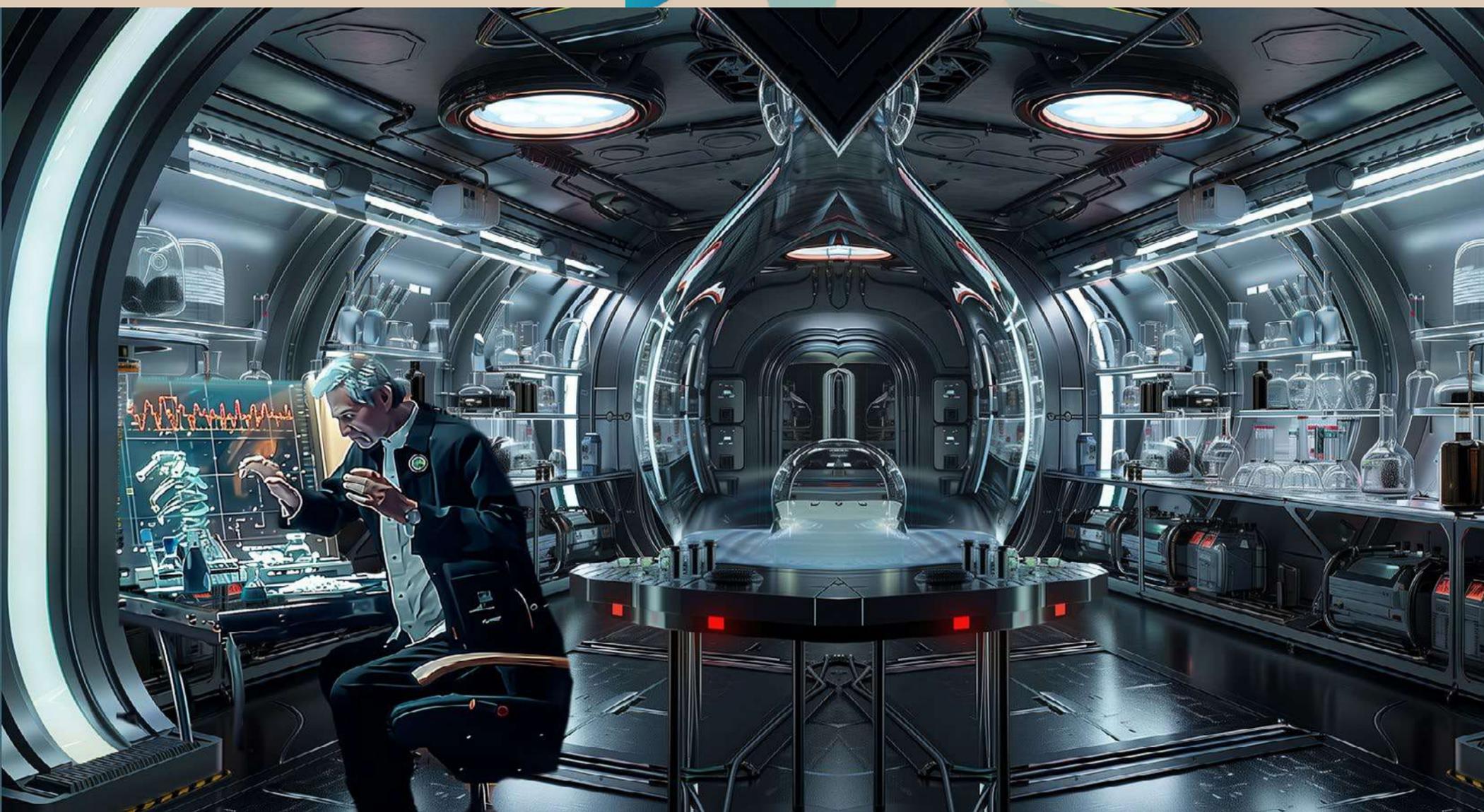
Por eso lord Martin y otros astrofísicos interesados en la cosmología están convencidos de que se harán progresos con respecto a la materia oscura en la próxima década, quizá no tanto respecto de la energía oscura, pues para entender esta última es imperativo conocer con detalle el espacio interatómico.

Y esto solo podrá conseguirse cuando se unifiquen la mecánica cuántica con la teoría de la relatividad de Albert Einstein, asunto que representa el más grande desafío que ha enfrentado la Física en su historia.

“Lo que sabemos hasta ahora nos sugiere”, sostuvo Rees, “que el espacio no puede dividirse en forma profunda, dado que su estructura es mucho más pequeña que la estructura de cualquier objeto material en el universo. Si tomamos una silla y la cortamos en rebanadas cada vez más delgadas, en un momento dado llegaremos a su estructura subatómica”.

Hagamos lo mismo con el espacio-tiempo, y alcanzaremos un estado granular, millones de veces más pequeño que el nivel subatómico. “Eso es imposible de observar por los humanos, al menos durante un largo tiempo”, aseguró él.

No quiere decir que no merezca nuestra atención; por el contrario, es de vital importancia a fin de conocer mejor la evolución de las galaxias. Por consiguiente, es imperante llevar a cabo un trabajo teórico aún más detallado, quizás un replanteamiento de algunos postulados, lo cual arroje al cabo del tiempo luces sobre cuáles alternativas experimentales pueden ponerse en marcha y es factible confrontarlas con las observaciones que vayan acumulándose.





Se proponen hipótesis, algunas más temerarias que otras, como la idea de que el origen de dicha materia podrían ser hexaquarks, partículas formadas no por tres quarks, como sucede con la materia luminosa que nos constituye, sino por seis. Semejantes hexaquarks pudieron haberse condensado durante el Big bang y desaparecer en forma de materia luminosa. Los hexaquarks ya fueron descubiertos en el CERN.

“Pero aún no existen pruebas de que esto haya sucedido así. Hay un larguísimo camino por recorrer”, opinó lord Martin.

Empero, lo que ayer parecía inescrutable hoy empieza a ser discernible. Tal es el caso de los átomos de rubidio con masa negativa. Según sus creadores puede convertirse en una herramienta para explorar relaciones entre masa negativa y algunos fenómenos cósmicos, como las estrellas de neutrones, los hoyos negros y la llamada energía oscura a la que se refirió Rees, quien ha estado involucrado en la toma de decisiones sobre las actividades británicas en el espacio exterior.

Rees es un vehemente defensor de nuestra vocación hipermoderna, pues si bien en términos prácticos es mucho más económico fabricar androides que nos ayuden a colonizar planetas lejanos a control remoto, también es cierto que siempre habrá personas aventureras, a quienes les gusta vivir en el riesgo extremo, por lo que, sin ninguna duda, dentro de algunos cientos de años habrá colonias humanas y *posthumanas* habitando Marte y más allá.

“Los herederos de Peary y Cook (pioneros de la conquista del Ártico) y Amundsen y Scott (conquistadores del Antártico) sorprenderán a sus coetáneos”, aseveró.

Hay implicaciones de largo plazo. Lord Martin se entusiasma, sonrío, mirándome fijamente con sus profundos ojos azules.

“No olvide que durante las últimas décadas se han inventado técnicas de manipulación genética, la más poderosa de ellas, CRISPR/Cas9”, dijo.

En otros campos de la biología, cruciales para sobrevivir y perpetuarse en el espacio, como la embriología, también se han hecho enormes avances. El impulso de la cultura cibernética en las últimas décadas ha facilitado que la nanotecnología y los dispositivos computarizados, sobre todo IA y sistemas expertos, se reúnan con los conocimientos biomédicos. El control y producción de energía en cantidades astronómicas y limpia mediante la fusión nuclear cada vez está más cerca de convertirse en realidad.



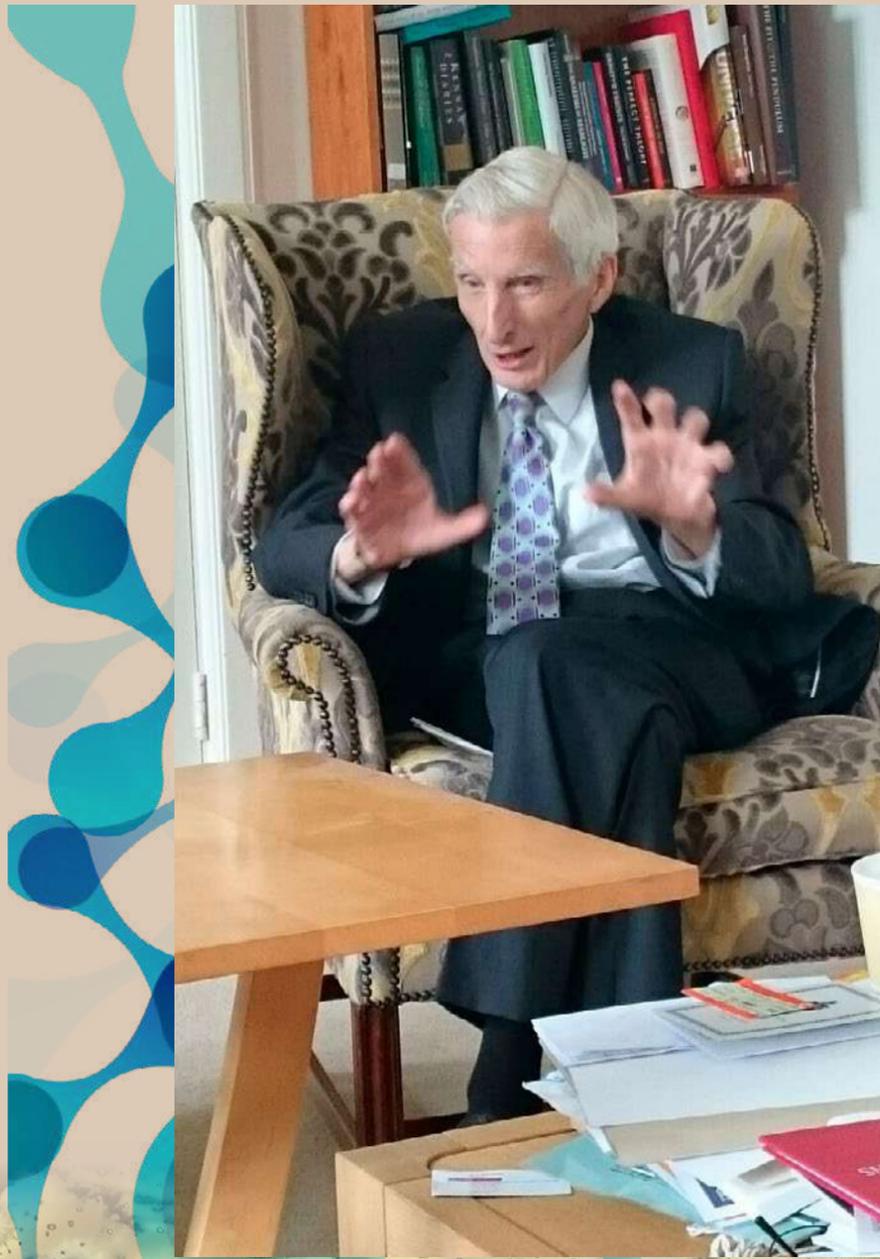
Se trata, pues, de un tesoro cultural, bagaje que llevarán a cuestas los colonizadores de otros mundos. Entonces la ciencia ficción habrá de ser superada.

Para el constructor de robots, Hiroshi Ishiguro, llegará el día, quizás dentro unos diez mil años, en que no habrá distinción entre los humanos ciborg y los “de carne y hueso”. Desde luego, no todo es miel sobre hojuelas. En la Tierra hay restricciones éticas insalvables, particularmente en el caso de la manipulación de la vida. Pero los pioneros del cosmos, lejos de aquí, irán cargados de conocimiento de última generación y con el tiempo cambiarán su perspectiva respecto de lo que significa nacer, crecer y soñar, y luchar contra la muerte.

“Heredaremos, no la vida tal como la conocemos aquí, sino su motor esencial: los mecanismos disipativos, los trucos homeostáticos; la manera de absorber energía de una fuente estelar y transformarla en objetos primitivos, en entes biológicos, en organismos complejos, como las aves y muchas otras especies, para luego cumplir con nuestro destino cósmico”, concluyó lord Martin.

Dejé atrás Trinity, caminé a la estación de trenes de Cambridge para tomar el tren a Londres, pensando en que el ánimo de los colonos intergalácticos debería estar permeado del yo que Miguel de Unamuno, siempre insatisfecho, perfiló para la nueva humanidad:

“Quiero ser yo y, sin dejar de serlo, ser, además, los otros, adentrarme la totalidad de las cosas visibles e invisibles; extenderme a lo ilimitado del espacio y prolongarme a lo inacabable del tiempo.”



**EN PORTADA:**  
Lord Martin platica con nuestro corresponsal en el futuro.