

JULIÁN FÉLIX

EINSTEIN

AL INFINITO VACÍO



**LA FÍSICA EN ENTREVISTAS
CRONOGRÁFICAS**



En esta obra Julián Félix relata la importancia manifiesta de la física y la ciencia para el entendimiento del mundo actual a través de 4 movimientos ligados por recursos literarios como la cronografía y la entrevista. En este libro acontece la historia de la ciencia y sus revoluciones, las cuales han marcado diversos cambios de paradigmas en la historia de la humanidad, una biografía en primera persona de Alfred Nobel y la relevancia de los premios dados en su honor para la difusión de las ideas, así como una entrevista a Albert Einstein, la cual es realizada por XILeF, un ente inmaterial muy cercano a nuestros tiempos de Inteligencia Artificial. La voz del genio alemán acompaña al lector hasta el final para abrirle las puertas a aquellos que no temen ir al fondo de los grandes cuestionamientos y mirar de frente al infinito vacío.

Einstein al infinito vacío.
La física en entrevistas cronográficas



EINSTEIN AL INFINITO VACÍO

**LA FÍSICA EN ENTREVISTAS
CRONOGRÁFICAS**

Julián Félix

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



Ediciones
Universitarias

Einstein al infinito vacío.
La física en entrevistas cronográficas
Primera edición digital, 2024

D. R. © Universidad de Guanajuato
Lascuráin de Retana núm. 5, Centro
Guanajuato, Gto., México
C. P. 36000

Producción:
Programa Editorial Universitario
Mesón de San Antonio
Alonso núm. 12, Centro
C. P. 36000
editorial@ugto.mx

Formación y diseño de portada: Ximena Contreras Sánchez
Corrección: Jonathan Mirus Ruiz

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción o transmisión parcial o total de esta obra bajo cualquiera de sus formas, electrónica o mecánica, sin el consentimiento previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

ISBN: 978-607-580-082-0

Hecho en México
Made in Mexico

Índice

Capítulo I

Obertura.....	9
---------------	---

Capítulo II

Primer movimiento.....	19
------------------------	----

Capítulo III

Segundo movimiento.....	93
-------------------------	----

Capítulo IV

Tercer movimiento.....	113
------------------------	-----

Capítulo V

Cuarto movimiento.....	161
------------------------	-----

Bibliografía.	179
----------------------------	-----

CAPÍTULO I

OBERTURA

Esta obra es una entrevista atemporal, de ficción, a Albert Einstein. La realiza XILeF, un ente inmaterial, una voz hecha de neutrinos. Las respuestas son una cronografía de la física creada a partir de la fecha en que Alfred Nobel rubricó su testamento. En ese tiempo, el joven Albert Einstein vagabundeaba por la vida, como un felino solitario expulsado de la manada, sin una mínima esperanza de poder seguir una carrera como científico. XILeF no existía, nunca ha existido, ni existirá más allá de un personaje de neutrinos.

Esta obra es una entrevista y es una cronografía. La entrevista nunca ha ocurrido, los hechos son completamente fehacientes y apegados a la historia oficial, se constatan en las referencias ofrecidas a lo largo el texto. El género literario, la entrevista, se funde con la figura retórica, la cronografía, para dar nacimiento a esta obra y a una mancuerna de entrevista y cronografía.

Esta obra es un ejemplo de la unión de un género literario y una figura retórica literaria, para llevar nuevas perspectivas del conocimiento de los fenómenos naturales al gran público y a los profesionales de la física.

Esta es una entrevista cronográfica. La entrevista es un género literario, a la altura del ensayo, de la novela, del cuento, y de cualquier otro género de las letras. Requiere de plumas maestras para dar sus mejores joyas. Es el terreno cultivado por los periodistas de todos los géneros. Campo donde se conocen el alma y el pensamiento del entrevistado a través de sus respuestas a preguntas bien y

atinadamente formuladas por el entrevistador. El arte de la entrevista radica en el arte de las letras y en la intimación de dos pensamientos. Es como un paseo de dos por bosques no antes explorados, lleno de sorpresas, sobresaltos, encantaciones, acertijos y soluciones.

La cronografía es una figura retórica. Consiste en describir el tiempo de un acontecer, de un sujeto o de un hecho. Dimensiona y concatena varios hechos en la línea del tiempo difuminada en la línea del horizonte, donde tiempo y espacio se amalgaman, para situar el tiempo del hecho de interés. El tiempo-espacio es la referencia matriz a la que están sujetas las vidas, los hechos y las circunstancias, en un discurrir de eventos en el filo del horizonte.

Ha habido grandes entrevistadores, a lo largo de la historia, como Kate Carew, quien entrevistó a Guillermo Marconi —Premio Nobel de Física en 1909, por la invención de la telegrafía inalámbrica—; H. G. Wells, quien entrevistó a Josef Stalin —líder de la extinta Unión Soviética—; Jerome Seckler, quien entrevistó a Pablo Picasso —connotado artista de las artes plásticas—; Milton Robert Machlin, quien entrevistó a Ernest Hemingway —gran escritor, Premio Nobel de literatura, 1954—; Jann S. Wenner, quien entrevistó a John Lennon —famosísimo músico inglés—; y I. Bernard Cohen, quien entrevistó a Albert Einstein —inigualable físico de todos los tiempos, Premio Nobel de Física en 1921, por su descripción del efecto fotoeléctrico y otras contribuciones— en ocasión del septuagésimo sexto aniversario de su nacimiento. Magníficas periodistas contemporáneas, ejemplares en el arte de la entrevista, son Rosa Montero y Oriana Fallaci, maestras ambas en el arte de la entrevista grabada y escrita.

Magníficas entrevistas videograbadas, a científicos connotados, se encuentran en *The Nobel Prize* (2023), y año con año se agregan seis más que corresponden a los científicos distinguidos con el Premio Nobel correspondiente al año. La entrevista videograbada ha estado des-

plazando a la entrevista escrita, sin embargo, la entrevista escrita tiene ese misterio donde la imaginación del lector juega un papel muy importante. El arte de la letra escrita es muy diferente del arte de la palabra hablada y video-grabada. Están para deleite de todos.

También en la página de la Fundación Nobel están, para el gran público, las disertaciones nobeles videogradas de las personas galardonadas. Son verdaderas cátedras científicas que sintetizan años de investigación científica realizada por la persona que recibe el Premio Nobel. Verlas y analizarlas es muy ilustrativo para el gran público y para los futuros científicos. Igualmente, se van agregando año con año las nuevas disertaciones nobeles videogradas.

De igual forma ha habido cronistas muy connotados, en la historia social y en la historia científica de la humanidad, a lo largo de las épocas. Los cronistas de la Revolución Mexicana, son un ejemplo (Garciadiego, 2005); los cronistas de la Física son otro (Heilbron, 2005). Todos relatan historias hiladas en el tiempo e ilustradas con opiniones.

Por los tiempos en que Alfred Nobel escribió su testamento se gestaban cambios radicales en la física, cambios profundos en el entendimiento de la naturaleza, descubrimientos que se volvieron hitos en la historia de las ciencias, en especial de la física, y que cambiaron para siempre el rumbo de la humanidad. Fueron los meses del año 1895, Alfred Nobel redactaba su testamento, como la coronación de una larga vida de inventos, solicitud de patentes, descubrimientos científicos, pleitos legales y empresas multinacionales. Wilhelm Conrad Röntgen pasaba a la historia de la física con su celebrado descubrimiento de los rayos X, capturando la imaginación y la atención del gran público, y las increíbles aplicaciones como ver dentro de objetos opacos, escudriñar los huesos sin quitar la carne, aplicaciones en medicina todavía en uso. Röntgen es el primer físico en recibir el Premio Nobel en 1901,

por su gran descubrimiento. Esta es una brevísima cronografía comparada.

Por otro lado, esta es una entrevista a Leo Lederman, por entonces director del laboratorio más grande del mundo en la especialidad de física de altas energías experimental, FERMILAB. El entrevistador recalca:

Hace un siglo se decía que “excepto por unos cuantos problemas pequeños con el espectro del Hidrógeno, toda la física ha sido resuelta”. En su opinión, cuál es el problema más prominente que probablemente será resuelto en el futuro próximo.

[Leo Lenderman:] ¿Restrinjámonos a la física, de acuerdo? En la física existe la opinión y el sentimiento generalizado de que el problema que ha estado golpeando nuestras cabezas por los últimos 20 años debe ser resuelto, es el problema genérico de Higgs. Para ello propusimos el Super Colisionador Super Conductor. El motivo fue exponer o confrontar el fenómeno de Higgs con los datos experimentales. Sabíamos que lo que se supone que hace el Higgs, a las energías alcanzadas por el Super Colisionador, ciertamente podríamos verificarlo. En otras palabras, el Higgs será una tesis fallida si no se encuentra a las energías del Super Colisionador, o la Máquina de Texas. Bueno, la Máquina de Texas no será construida.

Y así fue, en cambio se construyó el LHC (por sus siglas en inglés de Large Hadron Collider) en la frontera franco-suiza en el laboratorio CERN (2023) o, mejor dicho, se adaptó lo que ya había de infraestructura de aceleradores de partículas y se modificó hasta el tamaño deseado.

La gran excitación y motivación por los descubrimientos científicos abandonaron Estados Unidos y se movieron a Europa, llevándose apresada la imaginación del gran público por los temas científicos del momento. Más adelante, el Premio Nobel en Física del año 2013 fue para François Englert y Peter W. Higgs porque su propuesta de cómo algunas partículas adquieren masa, que es el papel que

juega la partícula higgs en la naturaleza, fue confirmada en esta gigantesca máquina por dos colaboraciones internacionales: el ATLAS (2023) y el CMS (2023): “por el descubrimiento teórico de un mecanismo que contribuye a nuestro entendimiento del origen de la masa de las partículas subatómicas, y el cual recientemente fue confirmado a través del descubrimiento de la partícula fundamental predicha, por el experimento ATLAS y el experimento CMS del gran colisionador de hadrones del CERN”. (Nobel de Física 2013, 2023)¹. Este es un ejemplo de las grandes empresas científicas de nuestro tiempo, multinacionales, multiculturales, multimillonarias, y multiempresariales, de mediano y largo plazo.

En estos días, el ícono científico de la ciencia, de todos los tiempos, es Albert Einstein. Es el más popular de todos los físicos que han recibido el Premio Nobel en Física, el más revolucionario y el más rebelde. Vivió al fragor de los grandes cambios científicos y sociales de su época: sobrepasar el paradigma del conocimiento de la naturaleza de su época, el de la física a la Newton y a la Galileo, el nacimiento de la nueva física, además de guerras intestinas en Europa, las dos grandes guerras mundiales y varias revoluciones sociales en Europa y en el mundo donde participó activamente como pacifista consumado. En la escena de los grandes cambios científicos es acaso el personaje más importante y el más emblemático, por extensión también lo es en el pacifismo mundial. Icónicamente representa la genialidad, la muda de los paradigmas educativos y el cambio intelectual revolucionario; paradójicamente se le reconoce como el abuelo de la bomba nuclear, el arma más mortífera con que cuenta la humanidad. En la página Nobel (2023) se constata este asentimiento: es el más popular entre todos los científicos de todas las

¹ En inglés, en el original: “for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”.

épocas. En genialidad comparada, a decir de los colegas, sólo le aventaja Isaac Newton.

Nace, en Alemania, por los años en que nace otro genio, uno mexicano, en Durango. El primero en el año 1879 y José Doroteo Arango Arámbula, más conocido como Francisco Villa en 1878. Muy lejos uno del otro en el espacio, pero muy cerca en el tiempo. Villa fue muy famoso en su época, y todavía lo es. Albert Einstein también lo es, y lo sigue siendo. No parece que uno haya oído, o leído, del otro, aunque hay mucha información mundial en los periódicos de la época sobre las hazañas de estos íconos de la sociedad. Villa se enarbola como un genio militar y estratega, un rebelde y revolucionario, amante de las letras y la cultura sin llegar a culto ni a letrado. Fue emboscado y asesinado cobardemente a sus 45 años en Parral, Chihuahua, México; Einstein se muestra como un genio científico; muere por enfermedad del corazón a los 76 años en un cuarto de hospital de Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos, de forma repentina. Ambos, en sus campos, son considerados genios legendarios y atemporales. Ambos gustaban posar para las fotografías; son grandes atractores de la naciente industria del cine mundial.

Albert Einstein es llamado por sus condiscípulos “El Honrado Don Juan”, por su lacónica y severa forma para emitir juicios agudos, meditados, y certeros —verdaderas saetas mordaces, llenas de ingenio—; Francisco Villa, por Alfonso Reyes, “El Centauro del Norte”, por su forma de montar, conducir y jinetear a su yegua Siete Leguas u otro de sus caballos. Los científicos decidieron, y consiguieron, estudiar morfológicamente el cerebro de Einstein, ya muerto, tratando de encontrar el origen de su genialidad, sin obtener resultados decisivos, y su cerebro es conservado para la posteridad, todo aparentemente sin el permiso de sus familiares; la cabeza de Villa es robada al cadáver, como un intento de anular o entender su genialidad, se sospecha de magnates estadounidenses vincu-

lados con los grandes rotativos de la época, su destino es hasta la fecha desconocido. Ambas genialidades ya están escritas con letras de oro en el libro de la historia mundial, aquélla que no tiene tiempo ni frontera. Son primerísimos ejemplos de genialidad, cada quien, en su ámbito, para ser estudiados.

La entrevista a Einstein transcurre inmaterial, pero llena de seres humanos protagonistas de las historias. En cada logro, en el avance de la ciencia hay una persona, o grupo de personas, que se ha esforzado hasta el límite de sus capacidades.

Einstein escucha, responde, explica, ejemplifica, y conduce al entrevistador y a los lectores por el tiempo del nacimiento de la física nueva, finales del siglo XIX, y se adentra al siglo XX en el que es uno de los protagonistas principales, hasta los asombrosos desarrollos de la física del siglo XXI. La entrevista se apoya en las disertaciones hechas por los mismos galardonados del Premio Nobel; las respuestas de Einstein, en sus propias vivencias y en datos palmarios, porque las referencias nunca fueron de su total agrado.

Esta entrevista tiene cuatro movimientos:

El primer movimiento es la cronografía de la física hasta el siglo XX, también es de la ciencia en general en sus aspectos más fundamentales. Una pléyade de grandes físicos y filósofos naturales son los actores principales: desde los antiguos griegos —Tales de Mileto, Pitágoras de Samos, Demócrito de Abdera, Hiparco, etc.—; los árabes —al-Abhá, Avicena, al-Juarismi, etc.—; los científicos del Medioevo —Ptolomeo, Roger Bacon, entre muchos otros—; los científicos del Renacimiento —Francis Bacon, Kepler, Descartes, Galileo, Newton, Huygens, etc.—; los científicos que les siguieron en los siglos —Gauss, Coulomb, Ampere, Faraday, Maxwell, etc.—, hasta llegar al siglo XIX, al siglo XX, y al siglo XXI, con este rasgo distintivo: la creación y operación de grandes laboratorios multinacionales

donde la ciencia se hace por grandes colaboraciones tipo empresarial. Tiene períodos lentos de desarrollo, períodos rápidos y gran efervescencia, y períodos muy rápidos de prodigiosos avances. Es el inicio y es el despegue de la ciencia contemporánea.

El segundo movimiento es la historia de la familia Nobel, Alfred Nobel como principal actor, director indiscutible, realizador, hombre de empresa, amplia cultura, amigo de artistas e intelectuales; el señor y la señora Nobel, sus hermanos, sus amigos y amigas, sus inventos, sus trabajadores, sus fábricas, y muchos otros. Es trágico por la muerte de uno de sus hermanos y de algunos trabajadores en sus fábricas, y es a la vez glorioso por todos los triunfos acaecidos hasta llegar a constituir los cinco distintos Premios Nobel en ciencias y literatura, que después crecieron a seis, porque se incluyó el Premio Nobel de Economía.

El tercer movimiento es el encuentro más cercano con Albert Einstein, y significa el rompimiento con la interpretación clásica del mundo natural, newtoniano, mecanicista, del universo. En un primer acto, Einstein y Planck son los primerísimos intérpretes, y están rodeados por una pléyade de grandes físicos como Raman, Compton, Davisson, Franck y Hertz, Stern, Lorentz, Stark, Zeeman, Bragg, Thomson, Bohr, Michelson; en un segundo acto, es el desarrollo de la visión cuántica, a la Planck y a la Einstein, del universo, con la actuación muy especial de Werner Heisenberg, Edwin Schrödinger, Louis de Broglie, Max Born, Paul Dirac y otros, y significa el rompimiento con el paradigma de la visión a la Newton y a la Galileo de la naturaleza. En un tercer acto, interpretan el desarrollo espectacular de las aplicaciones de la mecánica cuántica, actúan un gran número de primerísimas estrellas del firmamento científico, como en una mega producción no cinematográfica sino de la vida humana de todos los días: Fermi, Lawrence, Rabi, Bridgman, Appleton, Blackett, Yukawa, Powell, Cockcroft y Walton, Bloch y Purcell, Zernike, Bothe, Kusch, Lamb,

Shockley y Bardeen y Brattain, Yang y Lee, Cherenkov y Frank y Tamm, Segrè y Chamberlain, Glaser, Mössbauer, Hofstadter, Landau, Mayer y Jensen, Wigner, Townes y Basov y Prokhorov, Tomonaga y Schwinger y Feynman, Kastler, Bethe, Alvarez, Gell-Mann, Néel, Alfvén, Gabor, Bardeen y Cooper y Schrieffer, Josephson, Esaki y Giaever, Ryle y Hewish, Bohr y Mottelson y Rainwater, Richter y Ting, Anderson y Mott y Vleck, Penzias y Wilson, Kapitsa, Glashow y Salam y Weinberg, Cronin y Fitch, Bloembergen y Leonard Schawlow, Wilson, Fowler, Chandrasekhar, Rubbia y van der Meer, Klitzing, Binnig y Rohrer, Ruska, Bednorz y Müller, Lederman y Schwartz y Steinberger, Ramsey, Friedman y Kendall y Taylor, Gennes, Charkap, Hulse y Taylor Jr., Shull y Brockhouse, Reines, Perl, Lee y Osheroff y Richardson, Chu y Cohen-Tannoudji y D. Phillips, Laughlin y Störmer y Tsui, Hooft y Veltman, Kilby y Alferov y Kroemer, Cornell y Ketterle y Wieman, Giacconi y Davis Jr y Koshiba, Abrikosov y Ginzburg y Leggett, David J. Gross, H. David Politzer and Frank Wilczek, Hall y Hänsch y Glauber, Mather y Smoot, Fert y Grünberg, Nambu y Kobayashi y Maskawa, Boyle y Smith y Kao, Geim y Novoselov, Perlmutter y Schmidt y Riess, Haroche y Wineland, Englert y Higgs, Isamu Akasaki y Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, Takaaki Kajita y Arthur B. McDonald, David J. Thouless y F. Duncan M. Haldane y J. Michael Kosterlitz, Rainer Weiss y Barry C. Barish y Kip S. Thorne, Arthur Ashkin y Gérard Mourou y Donna Strickland, James Peebles y Michel Mayor y Didier Queloz, Roger Penrose y Reinhard Genzel y Andrea Ghez, Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann y Giorgio Parisi, Alain Aspect y John F. Clauser y Anton Zeilinger.

Además, la lista está conformada por desarrollos de tipo formal teóricos —como la teoría de Fermi sobre la desintegración beta, la teoría de Dirac sobre la antimateria, y otras muchas de gran desplante de ingenio y arrojo intelectual—, y por desarrollos de tipo instrumental y tecnológico —como el invento de la cámara multi alámbrico

ca, la invención de transistor, el desarrollo de la telegrafía inalámbrica, la cámara de estado sólido, el láser pulsado de alta frecuencia, etc.— y descubrimientos certeros — como el descubrimiento de los rayos cósmicos, el descubrimiento de la expansión del universo, el descubrimiento de las partículas elementales, entre muchos otros—. Las consecuencias de estos avances son los espectaculares logros científicos y tecnológicos que la humanidad vive todos los días. Todos los protagonistas anteriores recibieron un Premio Nobel en Física. El movimiento es glorioso por las profundas implicaciones filosóficas, científicas, educativas, tecnológicas, económicas, y sociales que se desarrollaron a lo largo de los años del siglo XX y que continúan irrigando al siglo XXI.

El cuarto movimiento es el alejamiento del entrevistado. La recapitulación de una persona que vivió para desarrollar el conocimiento acerca de la naturaleza. Los actores son Albert Einstein y el ávido lector, especialmente aquél sediento de conocimientos y de formas de aproximarse a los secretos de la naturaleza. Es lento y certero porque imita la lluvia pertinaz sobre un campo requemado al sol. Y se fuga lentamente porque tiene como meta dejar en la mente de los lectores que la ciencia es el resultado de miles de años de esfuerzos, que el método experimental y observacional es la clave para desarrollar las ciencias físicas y naturales, que las ciencias deben enseñarse y aprenderse como ciencias, que las ciencias están al alcance de grupos de jóvenes estudiosos con deseos de contribuir a esta y a las tecnologías, que son claves para desarrollar un país.

Los lectores, las personas ávidas de saber y los grupos de jóvenes estudiosos del mundo, en particular de Latinoamérica, sacarán mucho provecho de esta obra.

CAPÍTULO II

PRIMER MOVIMIENTO

Introducción

La ciencia, como el arte y la tecnología, es una actividad humana en toda la extensión de la frase. En esta actividad participan mujeres y hombres, jóvenes y personas mayores, y se ha llevado a cabo prácticamente en todas las épocas de la historia de la civilización humana y de todas las nacionalidades. Esto nace de una especie de disposición innata al ser humano por entender el mundo externo, quizá enraizada en su deseo de supervivencia, aunque el desenlace es la creación de tecnologías, de satisfactores y de productos, no son el principal motivo a la hora de hacer ciencia. Cada científico tiene sus propios intereses: algunos buscan entender el devenir del mundo externo, otros buscan fama y reconocimientos, otros más, contribuir al engrandecimiento de la ciencia y al progreso de la humanidad. Todos tienen un motivo propio.

El físico más joven que ha recibido el Premio Nobel en Física es Lawrence Bragg, en el año 1915 con 25 años de edad: “por sus servicios en el análisis de la estructura de los cristales por medio de los rayos X”². También es el más joven en todos los Premios Nobel de ciencias (la más joven de todos los Premios Nobel es Malala Yousafzai, Premio Nobel de la Paz 2014, de 17 años). En la motivación se habla en plural porque también lo recibió su padre Sir William Henry

2 En inglés, en el original: “for their services in the analysis of crystal structure by means of X-rays”.

Bragg; ambos de nacionalidad inglesa. Ambos contribuyeron al engrandecimiento de la ciencia, al progreso de la humanidad y al entendimiento del mundo externo.

El físico de más edad con la misma distinción es Arthur Ashkin, Premio Nobel en física 2018 con 96 años. La motivación del Premio Nobel: “por las pinzas ópticas y sus aplicaciones en sistemas biológicos”³. También es el de mayor edad entre todos los Premios Nobel.

El segundo Premio Nobel de física de más edad es Raymond Davis Jr., de nacionalidad estadounidense, en el año 2002 con 88 años de edad: “por sus contribuciones pioneras a la astrofísica, en particular por la detección de los neutrinos cósmicos”; Le sigue como persona de mayor edad entre todas las que han recibido el Premio Nobel Leonid Hurwicz, de nacionalidad rusa, en el año 2007 con 90 años de edad, en ciencias económicas: “por haber establecido los fundamentos de la teoría de los mecanismos del diseño”. Cada uno trabajó en su especialidad durante su larga vida para lograr los progresos respectivos y merecer la altísima distinción.

Únicamente cuatro mujeres han recibido el Premio Nobel en Física y compartiendo la mitad con profesores, recibiendo un cuarto del monto económico correspondiente. Las dos últimas muy recientes (2018 y 2020). Los honores, fama y reconocimiento son parejos, pero en el monto del Premio está la distinción. Como el profesor Leon Lederman lo externó en alguna reunión con colegas: “un Premio Nobel compartido entre tres no es un Premio Nobel, es un tercio del Premio Nobel”. Y él tiene un tercio de un Premio Nobel en Física, porque lo compartió con sus colegas Melvin Schwartz y Jack Steinberger: “por el método de haz de neutrinos y la demostración de la estructura del doblete de los leptones a través del descubri-

3 En inglés, en el original: “for the optical tweezers and their application to biological systems”.

miento del neutrino muon”⁴. Si se reparte una mitad para uno y la otra mitad para los otros dos, entonces un Premio Nobel compartido entre tres también se troca en una mitad y un cuarto. Las damas no han recibido un Premio Nobel en física, han recibido un cuarto de Premio Nobel, parafraseando al profesor Leon Lederman.

La primera fue Marie Curie, *née* Maria Sklodowska, en el año 1903: “en reconocimiento de los extraordinarios servicios que ellos han proporcionado por sus investigaciones conjuntas en los fenómenos de radiación descubiertos por el Profesor Henri Becquerel”. También la mención es en plural porque recibió el Premio junto con su esposo Pierre Curie y Antoine Henri Becquerel, para este último con mención aparte. El profesor Becquerel recibió la mitad y los Curie la otra mitad, un cuarto cada uno, del Premio Nobel. Marie nació en Polonia y fue nacionalizada francesa; Pierre Curie y Becquerel eran franceses. Entonces María Curie recibió un cuarto de Premio Nobel y Pierre Curie el otro cuarto. ¿Correcto, Profesor Lederman?

La segunda fue Maria Goeppert-Mayer, en el año de 1963: “por sus descubrimientos concernientes a la estructura nuclear de capas”. La mención es en plural porque compartió el Premio Nobel con J. Hans D. Jensen y con Eugene Paul Wigner que mereció mención aparte. Una mitad fue para el profesor Wigner, nacido en Hungría, de nacionalidad estadounidense y el otro medio para Mayer —nacida con nacionalidad alemana, y nacionalizada estadounidense— y Jensen —de nacionalidad alemana—, con un cuarto a cada uno. Entonces, Maria Goeppert-Mayer recibió un cuarto del Premio Nobel. ¿Correcto, Profesor Lederman?

La tercera fue Donna Strickland (2018). Un cuarto de Premio Nobel en Física: “Por su método de generación

4 En inglés, en el original: “for the neutrino beam method and the demonstration of the doublet structure of the leptons through the discovery of the muon neutrino”.

de pulsos ópticos ultra cortos y de alta intensidad”⁵. La nominación está en plural, puesto que se usa el adjetivo posesivo *su* válido tanto para la tercera persona del singular como la del plural. El otro cuarto fue para Gérard Mourou y la otra mitad para Arthur Ashkin.

La cuarta fue Andrea Ghez (2020). Un cuarto de Premio Nobel en física: “Por el descubrimiento de un objeto compacto y súper masivo en el centro de nuestra galaxia”⁶. El otro cuarto para Roger Penrose y la mitad para Reinhard Genzel.

En el proceso de aspirar a entender el mundo externo, su devenir y su constitución, las personas dedicadas a la ciencia han creado, o inspirado a su creación, una serie de conceptos y técnicas que englobados definen lo que entienden y practican por ciencia. Así crean la conceptualización en la ciencia. El concepto de *campo* fue acuñado por Faraday para referirse a las propiedades del espacio físico que rodea a una carga eléctrica; el término quanta de luz fue introducido por Einstein; y el de quanta en general, en particular el de acción, por Planck para referirse a quanta de energía o de carga eléctrica, o de cualquier otra cantidad física; George Stoney llamó al *quantum* de electricidad electrón; Wilhelm Conrad Röntgen le llamó a la radiación que descubrió rayos X, porque parecían desconocidos y nada parecido a lo conocido; las transformadas de Galileo; el número de Reynolds; infinitésimo; cortadura de Dedekind; electricidad positiva; electricidad negativa; satélites galileanos; leyes de Kepler; campo magnético; inductancia; resistencia; inercia; espacio; tiempo; entropía; masa, entre otros muchos que en física quizá lleguen a unos 5000 conceptos. Y hay un sinfín de términos que no prosperaron, y en el camino de la ciencia

5 En inglés, en el original: “for their method of generating high-intensity, ultra-short optical pulses”.

6 En inglés, en el original: “for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our Galaxy”.

fueron olvidados. Algunos sólo están en los libros de los recuerdos, como calórico, vórtice, humor, emanaciones, éter, fluxiones, quintaesencia, entre muchos otros.

El concepto básico de ciencia y su metodología no son estáticos, han evolucionado a lo largo de las épocas de forma muchas veces tortuosa, con altibajos, con retrocesos, y con conceptos no expresamente claros. El objetivo fundamental de esta búsqueda no ha cambiado en esencia: entender el devenir, la constitución y las reglas del mundo externo.

La investigación científica es lo que hacen los científicos para encontrar correlaciones entre conjuntos de evidencias experimentales, para explicarlas y sistematizarlas. Ya no se habla de verdad científica, sino de consistencia de la información entre conjuntos de información. Desde un punto de vista filosófico, en su ensayo “Sociedad y soledad”, R. W. Emerson escribió: “El hombre gusta de maravillarse, y eso es la semilla de nuestra ciencia” (2019).

Desde el punto de vista de un escritor, Mark Twain asentó en su cuento “Vida en el Misisipi” con su característico humor y burla controlada: “Hay algo fascinante en la ciencia. Uno obtiene un abultado cargamento de conjeturas de una insignificante inversión de hechos” (2014). En cambio, en su ensayo “Filosofía de la física”, Max Planck escribió “La ciencia... significa incansables intentos y desarrollos continuos y progresivos hacia un punto que la intuición poética puede aprehender, pero que el intelecto nunca puede completamente agarrar” (1963).

Y Werner Heisenberg en su libro *Física y filosofía* plasmó: “La ciencia natural no simplemente describe y explica la naturaleza; esta es parte del juego mutuo entre la naturaleza y nosotros mismos” (1959).

En la actualidad, como siempre, se requiere imaginación, perseverancia, coraje y voluntad para investigar la naturaleza desde nuevas perspectivas. Invariablemente, siempre las nuevas formas de ver el mundo aparecen al

inicio como sin sentido. Es muy posible que la imaginación sea tan importante como la inteligencia, o más, para investigar la naturaleza.

La historiografía de la ciencia mundial, con sus variantes en diferentes culturas, puede dividirse gruesamente, desde un punto de vista muy occidental, en cuatro períodos: 1. Desde los inicios griegos hasta la desintegración del Imperio romano en el siglo V; 2. Desde el siglo V hasta el siglo XVII, antes de Newton y Galileo; 3. Desde Galileo y Newton hasta el siglo XX; 4. Desde el siglo XX hasta nuestros días.

Los inicios griegos

Hasta donde se sabe, los antiguos griegos comenzaron a hablar de ciencia en términos muy cercanos a los que hablamos hoy y buscaban resolver básicamente los mismos problemas centrales. De esto hace casi 27 siglos. Se apartaron de sistemas de pensamientos como el animismo, la mítica, la adivinación, la superchería y otras formas de ver e interpretar el mundo externo. Como forma alternativa de explicación del mundo inventaron la teorética. Fue Pitágoras, y la escuela pitagórica, quien inventó la palabra *theoreia* para referirse a la formulación de explicaciones basadas en los números y los fenómenos naturales reducidos a números desde su apariencia cualitativa. Pitágoras y sus estudiantes inventaron la hipótesis de trabajo de la ciencia moderna y contemporánea: todo fenómeno natural es representado por un número que es el resultado del cociente de dos números. De esta forma, el universo, y la naturaleza en su totalidad, es como un gigantesco mecanismo sujeto a leyes naturales.

Para aplicar este programa a cualquier fenómeno natural hay que inventar conceptos medibles. En un desfile los gritos de los soldados se reflejan en las paredes, seguramente los griegos antiguos notaron este fenómeno.

Para reducir este hecho a números hay que crear conceptos como onda de sonido, intensidad de la onda, reflexión, ángulo de incidencia, frecuencia, velocidad de la onda, longitud de onda, entre muchos otros, y luego establecer suposiciones, o realizar deducciones, que se pueden verificar por observación y experimentación. Al igual que estudiar los fenómenos naturales desde el punto de vista observacional y experimental, es decir, medir sistemáticamente y metódicamente. Identificar razones basales, simples, generales e irreducibles entre todos los fenómenos naturales observados.

Los conceptos así inventados sirven no únicamente para estudiar la reflexión de los gritos de los soldados en las paredes del desfiladero. También sirven para estudiar todo fenómeno ondulatorio. Ese es el poder de síntesis y profundidad de la ciencia y el método de la ciencia. En ella se va creando un lenguaje universal, no importa si hablamos de ondas de agua o de aire, el concepto es aplicado en ambos casos y en todos los casos. Los sonidos producidos por una cuerda tensa, por ejemplo, fueron estudiados por Pitágoras.

La escala musical fue la primera teoría sobre un fenómeno natural, las vibraciones producidas en una cuerda tensa. Pitágoras la descubrió, la describió y la propagó en la historia. La usó como un ejemplo de la matematización del mundo natural y de todos los fenómenos naturales, además de apoyo a su propuesta de observar, describir, interpretar los fenómenos del mundo natural.

El instrumento musical básico, que también se atribuye a Pitágoras, es el monocordio. Consta de una cuerda tensa sujeta a un bastidor hueco, que sirve como caja de resonancia. A la cuerda se le pueden aplicar diferentes tensiones por medio de un mecanismo de pesas colgantes sujeto al mismo bastidor. La longitud de la cuerda está fija, pero digitándola, es decir, presionando la cuerda contra el bastidor con un dedo, como en las guitarras modernas, es

posible acortar la cuerda, o su porción vibrante. La cuerda tensa en el bastidor, al rasgarla con una uña o golpearla con la mano, vibra a una frecuencia determinada en función de la tensión de la cuerda y la densidad lineal de masa de la cuerda. No vibra a cualquier frecuencia, sino a frecuencias específicas. Este fue el gran descubrimiento de Pitágoras.

Las frecuencias naturales a las que vibra la cuerda son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental dada por el cociente de la velocidad de la onda en el aire y dos veces la longitud de la cuerda; la velocidad de la onda en la cuerda es igual a la raíz cuadrada del cociente de la tensión de la cuerda y la densidad lineal de masa de la cuerda, la velocidad de propagación de la onda en el aire es una constante de la naturaleza, a presión, densidad y temperatura fijas. Toda esta relación está expresada en proporciones y razones, o cocientes de cantidades físicas, como longitud de la cuerda, tensiones de la cuerda, densidades lineales de masa y velocidades. Esta fue la propuesta más fundamental de Pitágoras acerca del funcionamiento de la naturaleza. Un ejemplo sencillo de la propuesta de Pitágoras, con la primera formulación matemática de un fenómeno natural, es la base de la música.

La cuerda también tiene un timbre característico que depende del material con el que está confeccionada. Una cuerda de plástico, o de algodón, suena diferente a una metálica. Y son distinguibles, aunque estén vibrando a la misma frecuencia. La primera tiene un sonido apagado; la tercera, prístino, metálico.

La vibración u onda fundamental tiene longitud de onda fundamental igual a $2L$, donde L es la longitud de la cuerda. Todas las vibraciones producidas en la cuerda tendrán longitudes de onda proporcionales a dos veces la longitud de la cuerda, donde el factor de proporcionalidad es el inverso de un número natural, 2, 3, 4..., y así hasta nunca acabar, en principio. De forma natural

hay límites porque la longitud de la cuerda es finita, y longitudes de onda más pequeñas que un átomo no tiene sentido físico.

En el aire, a cero grados Celsius y a una atmósfera de presión, la perturbación sonora viaja a 331 m/s, es una rapidez constante. Todas las ondas sonoras independientemente de su frecuencia tienen esta rapidez. Es la perturbación que llega a los oídos humanos a través del aire y se convierte en sonido en la conciencia humana. Con los oídos no captamos los eventos en el tiempo, los captamos en el inverso del tiempo, como una frecuencia, por el número de vibraciones u oscilaciones por unidad de tiempo. El oído es un órgano que realiza esta conversión. Matemáticamente decimos que hace una transformación de Fourier del espacio de los tiempos al espacio de las frecuencias. Un oído musical perfecto hará esta transformación de Fourier perfectamente, así como no hay dos narices iguales entre los humanos, tampoco hay dos oídos completamente iguales; siempre hay sutiles o grandes diferencias, y el talento de todo músico radica en parte en la perfección de su oído.

Si la longitud de la cuerda se acorta a la mitad, digitándola, las frecuencias producidas se duplican, porque la rapidez de la onda en el aire permanece sin cambiar, y la longitud de onda de la onda producida es la mitad de la anterior. Este fue otro descubrimiento de Pitágoras. La longitud de onda es ahora igual a la longitud de la cuerda, pero la frecuencia de la onda es ahora doble. La nueva frecuencia está una octava más arriba con respecto a la primera. Si la cuerda sin digitar vibra a 440 vibraciones por segundo, esta nota se llama la, esta nueva onda estará vibrando a 880 oscilaciones por segundo.

Si imaginariamente dividimos la cuerda en tres partes iguales y digitamos a dos tercios de la longitud, la frecuencia de la onda producida será $3/2$ de la frecuencia fundamental. Se dice que la nueva frecuencia está una

quinta más arriba en la escala musical. En la afinación de los instrumentos musicales se toma la frecuencia base de 256 Hz (símbolo para denotar vibraciones por segundo, o Hertz). Esta nota se le da el nombre de do. El siguiente do, u octava arriba o segundo armónico, en la escala está a 512 Hz. Una quinta arriba está a $3/2$ (256 Hz), son 378 Hz; esta nota se llama sol.

Si tomamos como nota fundamental 1, en las unidades que uno desee, las notaciones se simplifican mucho, pero puede ser que resulte muy confuso. La escala de Pitágoras reconoce 7 tonos fundamentales y se construyen en base a quintas perfectas. Los valores de esos tonos son los siguientes, considerando como base 1:

$$\begin{aligned} \text{do} &= 1; \text{re} = 9/8; \text{mi} = 81/64; \text{fa} = 4/3; \text{sol} = 3/2; \\ \text{la} &= 27/16; \text{si} = 243/128; \text{do} = 2. \end{aligned}$$

De esta forma podemos empezar con cualquier frecuencia para el tono de do, y construir los otros tonos en la proporción anterior entre las notas. El lector puede pasar horas y horas divirtiéndose explorando la escala musical. Necesita construir un monocordio y construir matemáticamente toda la escala y corroborarla con el instrumento. Entonces estará haciendo ciencia. También, puede hacer el cálculo correspondiente para obtener la frecuencia de la, y se dará cuenta que no corresponde a 440 Hz, sino un valor ligeramente menor.

Lo que llama poderosamente la atención es la progresión de los sonidos obtenidos a partir de uno base. Este base puede ser cualquiera, sea do o la. Esto también es muy profundo. No hay un tono base natural, podemos escoger el que gustemos, lo cual indica ciertas configuraciones o características que la naturaleza tiene. Cualquier otro tono se obtiene del fundamental como una proporción o una razón. Debido a eso, el fenómeno de la música se puede explicar, y medir, con base en una progresión

numérica. La escala musical fue la primera teoría matemática de un fenómeno natural.

Por los motivos anteriores, Pitágoras extrapoló su descubrimiento, y lo convirtió en la hipótesis de trabajo de la ciencia moderna y contemporánea. Todo fenómeno natural es expresable como una razón o una proporción de números. Además, es la base de las ciencias naturales y exactas, como la física. Pitágoras también aplicó su teoría de las proporciones y razones en la astronomía, en la geometría, además de en la música y en el arte en general. En todas las ramas del saber, del arte y de la ciencia, resultó aplicable la idea de las proporciones de Pitágoras, es la base de la teoría de pesos y medidas que existe en la actualidad y es la base de toda la ciencia moderna y contemporánea.

Esta forma alternativa se basa en el pensamiento muy cuidadoso sustentado en las observaciones de los hechos y las circunstancias que ocurren en el mundo externo. La idea central era encontrar regularidades en el devenir del mundo que sirvieran para develar los secretos del universo. De acuerdo con observaciones muy cuidadosas, la naturaleza se ajusta a determinados patrones en su devenir de forma inviolable, el sol sale y se pone, la luna cambia de forma y tamaño a medida que transcurren los meses y los años, hay períodos de lluvia, hay épocas de frío, y muchos otros. De esta manera se puede saber, o predecir, lo que ocurrirá bajo determinadas circunstancias naturales. Sin embargo, eventualmente los pensadores griegos cambiaron este sistema observacional por uno netamente deductivo, donde el conocimiento es creado por procesos meramente mentales y lógicos. Este método es la base de las matemáticas antiguas y modernas y todas las ciencias matematizadas como la física y la computación.

Con el método deductivo de los griegos como herramienta, y el conocimiento empírico atesorado por los egipcios, los mesopotámicos, los jónicos, los babilonios

entre otros muchos pueblos, las matemáticas y la astronomía recibieron un poderoso impulso que duró varios siglos. En los primeros años el pensamiento mágico, el religioso, el artístico, el social entre otros se entrelazaban sin mucha distinción y las formas de argumentación se entremezclaban. No es posible decir si esta mezcla de formas de pensamiento retrasó o alentó el desarrollo del pensamiento científico.

Basado en el pensamiento matemático, Pitágoras planteó que el universo entero es como una gigantesca maquinaria matemáticamente perfecta, que todo lo que ocurre en la naturaleza es debido a la interacción mutua entre los cuerpos y que cada evento natural se puede describir con un número. Todo lo que ocurre alrededor son razones, son proporciones entre los diferentes eventos naturales. Esta es la hipótesis de trabajo de la ciencia contemporánea y lo fue para la ciencia griega, al menos en la corriente de pensamiento establecida por Pitágoras.

La pléyade de científicos griegos antiguos se expande desde Tales de Mileto, Anaximandro, Empédocles, Demócrito de Abdera, Leucipo de Abdera, Sócrates, Platón, Aristóteles y muchos otros verdaderos maestros del pensamiento y figuras científicas de primera línea.

Tales de Mileto propuso y sustentó la hipótesis que el mundo puede explicarse y conocerse racionalmente sin la intervención de entes supra-naturales. Logró predecir varios eclipses demostrando con esto la utilidad del pensamiento racional basado en hechos causales.

Le pregunté alguna vez a Leo Lederman —director emérito del FERMILAB—, porque yo sabía que el problema educativo es un acicate para él, qué consideraba como clave para explicar el desarrollo exitoso de la antigua escuela científica y artística griega. Pensó unos momentos y contestó: “los métodos de selección en la educación, sólo los más aptos eran seleccionados para ser educados y entrenados en las escuelas griegas” (2023).

Los métodos de selección son muy importantes, permiten obtener y entrenar a las personas más aptas para determinada labor, empero, las formas de pensamiento también son muy importantes y decisivas. Los griegos comenzaron a privilegiar el pensamiento deductivo por sobre la observación cuidadosa y metódica, y sobre inducción de conocimientos empíricos. Llegaron a considerar que todo el conocimiento podría obtenerse por el método deductivo, o como lo refería Albert Einstein: con pensar y sólo pensar. Las bases se construyen por observación directa de la naturaleza.

Llegaron a descubrir y a acumular una serie de teoremas matemáticos en la geometría, y perfeccionaron la ciencia de la deducción por medio del razonamiento puro y axiomatizado. El conocimiento matemático lo construyeron a partir de premisas auto-evidentes, por ejemplo, “el todo nunca es mayor que la suma de sus partes”. Al usar el método de la deducción llegaron a conclusiones y nuevos conocimientos a todas luces muy útiles. Esta forma de obtener conocimientos fue muy exitosa y poderosa en matemáticas, por lo que rápidamente la expandieron a otras áreas del conocimiento. Los griegos antiguos, aparentemente, llegaron a establecer y a aceptar que el único conocimiento aceptable y válido es el obtenido mediante el método de la deducción. Craso error.

A lo anterior se agrega que el método deductivo aplicado a otras áreas de la ciencia tiene serias dificultades, y al parecer los griegos no lo notaron o no quisieron notarlo. Tome el siguiente problema: ¿cuál es el peso corporal de María? No hay forma de deducirlo de premisas auto-evidentes. La solución es pesar a María. El resultado se obtiene mediante un procedimiento bien establecido, se expresa mediante un número y una unidad de medida, la razón entre dos números.

En el pensamiento griego antiguo el punto de partida de todo conocimiento fue una propuesta nacida en la

mente del científico griego, sin mucha distinción entre una idea y un hecho observacional. Las observaciones, o resultados observacionales, como punto de partida, fueron menospreciadas o subestimadas, y tenidas como trabajo digno de esclavos. Fue una sociedad esclavista y muy desigual, y que quizá cuestionó todo excepto a sí misma y a su organización.

Al método griego le faltó el método experimental en lo general porque, aunque hubo científicos como Herón de Alejandría que construían prototipos experimentales para realizar observaciones controladas, el procedimiento no prosperó ni cundió y no llegó a constituirse como un método. De esta forma, ocasionalmente los griegos recurrían a observar la naturaleza para obtener algunas respuestas a sus pesquisas y siempre subordinaban esta actividad a la actividad del intelecto deductivo o la teórica, como se le llamaba. Además, consideraban en lo general que la forma más alta y sublime de conocimiento es el obtenido directamente del intelecto. Un ejemplo de esta situación está en el tratado de Arquímedes, *El método* (Heath, 1920).

Arquímedes propone usar observaciones mecánicas como auxiliares en el entendimiento de la geometría. Esta propuesta de camino observacional de los griegos antiguos es opuesta a la propuesta contemporánea. Las propuestas teóricas se emplean para conseguir elaboraciones y resultados experimentales, como una forma de proceder, no como el fin último de la explicación o solución. La teoría es validada únicamente por los resultados experimentales. La teoría no se valida *per se*, ni por su belleza, ni por su estructura lógica, sino por la constatación de sus predicciones por los resultados experimentales.

Hay historias tan antiguas como los mismos protagonistas que intentan establecer cierta moralidad en la subestimación y la rebaja de la evidencia experimental como la base del conocimiento. Los antiguos griegos con-

taban que Demócrito, el filósofo griego creador y propagador más influyente de la teoría atómica, se extirpó los ojos para que la percepción de la luz no le distrajera de sus altísimas especulaciones filosóficas. Quizá una mejor explicación podría ser que Demócrito perdió su vista en los últimos años de su vida a consecuencia de la formación de cataratas u otra enfermedad de los ojos. Ahora todo es leyenda y especulación.

También contaban la anécdota de Platón, en una de sus clases de matemáticas —entendiéndose como matemáticas literalmente *lo que hay que saber*—, uno de los estudiantes de Platón le preguntó rayando en la ira: “Pero cuál es el uso de todo esto”. Platón llamó a su asistente esclavo y le ordenó dar al estudiante una moneda, y dijo: “Ahora usted no necesita sentir que su instrucción ha sido completamente sin propósito”. Con estas palabras el estudiante fue expulsado de la clase para nunca retornar.

La ciencia de los antiguos griegos no buscaba establecer principios generales. Cada problema era tratado como un caso particular. No lograron elaborar completamente el método experimental como el método para probar o desmentir propuestas acerca de la naturaleza, y no lograron la generalización sin sistematización del conocimiento del mundo natural como lo hicieron con la geometría.

Aún así, los antiguos griegos obtuvieron increíbles logros en la ciencia en todos los aspectos y al parecer no lograron más porque siguieron rutas o caminos que ahora vemos como equivocados. Debe haber preguntas acertadas y respuestas acertadas en la búsqueda del conocimiento y una forma de autocorregir el camino y las propuestas. Los antiguos griegos no lograr crear ese sistema. Su estudio de la naturaleza, aunque sistemático y de mucho éxito, no fue completo. Si el objetivo último es entender y llegar a esquemas generales del devenir de la naturaleza, entonces debe de haber una forma de corregir las propuestas formuladas y las respuestas logradas.

Los antiguos griegos no probaban sus supuestos básicos. Los tomaron como bases incuestionables e irrefutables. En innumerables ocasiones basaron sus discusiones en la autoridad de sus antecesores. Se dice que los discípulos de Pitágoras terminaban sus discusiones con frases como *lo dijo el maestro*. La autoridad aniquila la ciencia.

No tenían claramente el concepto de ley de la naturaleza. Lograron establecer la importancia del concepto de estructuras. Sin embargo, no elaboraron el concepto de fuerza, como aquel agente que cambia el estado físico de los sistemas físicos y, por supuesto, no lograron establecer la relación entre sistemas físicos, estructuras y fuerzas. Las estructuras, ni los estados físicos pueden existir sin las fuerzas.

La ciencia griega antigua sin el concepto de fuerza estudió únicamente los sistemas sin atender a las causas que producen los fenómenos, lo que actualmente conocemos como cinemática. El ejemplo más obvio es la astronomía. Estudiaron órbitas, movimientos, distancias, tamaños, periodos, formas, velocidades, relaciones de los planetas, el sol, la Tierra y la luna. Llegaron a conclusiones como la siguiente: los cuerpos terrestres son de movimientos imperfectos, corruptibles, sucios; los cuerpos celestes son de movimientos perfectos, eternos y limpios. Había entonces una mecánica de los cuerpos terrestres y una mecánica de los cuerpos celestes. Conclusión que se sigue de sus bases, pero claramente improcedente y desorientador.

El cambio de unas propuestas científicas por otras nunca obedeció a los resultados de una forma sistemática de poner a prueba las propuestas científicas. Cada figura científica o escuela sustentaba y defendía sus propias corrientes, y luchaban política y económicamente para hacer prevalecer sus puntos de vista. Quemar los libros de Demócrito, o quemar los libros de Platón eran las consignas de los grupos antagónicos, probablemente

algunas veces las consignas se lograron. Muchas obras de la ciencia griega antigua sólo se conocen por referencia o cita, sobreviviendo tan sólo fragmentos citados textualmente. Una situación así condenaba a la ciencia a la extinción.

Cuando todas las implicaciones lógicas de una colección de propuestas autoevidentes se hubieron agotado, la ciencia griega antigua también llegaba a un agotamiento, sin camino para renovarse o crecer. Los antiguos griegos elevaban sus conocimientos a la categoría de dogmas y cerraban las discusiones, con estas acciones mataban y sepultaban a la ciencia.

Con la muerte del mundo clásico la ciencia y el arte clásicos también murieron. El siglo V fue el inicio de diez siglos de lento avanzar o retroceder en el pensamiento científico. No fue un período estático, ni totalmente oscuro.

Del siglo V al siglo XVII

Desde el siglo V, la poca ciencia que se enseñaba y aprendía en ese período se hacía con base en los libros y las autoridades clásicas. El libro *Elementos de Euclides* permaneció como libro de texto por más de 20 siglos. La medicina se enseñaba directamente con los libros de Galeno, sin relación con los pacientes o el cuerpo humano. En este período de oscuridad, la ciencia fue perseguida y desterrada. Sus expositores castigados, confinados, muertos en la pira o en la lápida.

Hipatia de Alejandría quizá no fue la primera víctima de conflictos científicos, religiosos y políticos, pero sí fue una de las más connotadas y emblemáticas. Nació a finales del siglo IV y principios del siglo V de la presente era. Recibió educación esmerada en matemáticas, filosofía y astronomía en las escuelas de Atenas dentro de la tradición neoplatónica. Enseñó filosofía, matemáticas

y astronomía en las escuelas de Alejandría. Sucumbió a sus enemigos políticos, científicos y religiosos a la edad de 45 años.

La fecha de su muerte es considerada el inicio de la edad oscura en el conocimiento, el ocaso de la vida intelectual de Alejandría. El siglo de su muerte coincide con el inicio de la destrucción del mundo civilizado clásico y la destrucción del imperio romano. El mundo del islam heredó muchos de los conocimientos del mundo clásico, los perpetuó y los acrecentó.

No en todas partes del mundo civilizado se perseguía a los hombres y mujeres de ciencias. La civilización establecida por el islam fue esta excepción. Los siglos florecientes van del siglo VII al siglo XV, prácticamente en todo el mundo conocido constituyeron un imperio basado en el conocimiento, la ciencia, la tecnología, el comercio y la empresa. Innovaron profundamente el sistema de instrucción científica y prepararon las condiciones para preservar y agrandar el conocimiento universal. La regla era ser académico y letrado, y no era la excepción como en el mundo clásico.

En la civilización árabe se atesoró, se usó y se expandió el conocimiento científico en todas las áreas. La instrucción científica, la medicina, la astronomía, las matemáticas, la ingeniería, la física, la química, fueron atendidas extraordinariamente y fueron acrecentadas maravillosamente. Bajo un sistema de tolerancia limitada a las creencias religiosas y políticas, académicos de todos los ámbitos religiosos y políticos fueron asimilados y encausados en la grandiosa empresa de acrecentar y perfeccionar el conocimiento del mundo externo. Sentaron las bases del método experimental y observacional. Con este método las propuestas científicas del mundo clásico fueron confirmadas, rebatidas, o expandidas, y transformadas, e iniciaron el camino de la ciencia para alcanzar los niveles que se tienen hoy en día.

Además, crearon observatorios astronómicos que fueron verdaderos centros de investigación astronómica. Notables son el observatorio de Bagdad y el de Toledo. Fundaron centros hospitalarios, verdaderas escuelas de medicina, para la atención clínica gratuita, la investigación experimental médica y quirúrgica, el estudio de anatomía y otras ciencias relacionadas en Bagdad y otras ciudades. La medicina se estableció sobre bases experimentales y observacionales.

También establecieron universidades públicas para la atención de los ciudadanos y la investigación científica y humanística, como la Universidad de Al-Karaouine fundada a mediados del siglo IX en donde hoy se encuentra Marruecos, así como la Universidad del Cairo establecida en el siglo X. Estos son casos ejemplares, donde se realizaban estudios sociales, humanistas, racionalistas, liberales, individualistas, secularistas, escepticistas y científicos. Aquí se buscaba el conocimiento con significado, con valores, con enfoques pragmáticos, tecnológicos y empresariales sin soslayar la razón más profunda de la investigación científica fundamental.

A su vez, originaron una serie de bibliotecas públicas por las ciudades importantes del imperio árabe que funcionaban no como un repositorio de documentos y reclutamiento de información inerte, sino que eran verdaderas instituciones al servicio de las personas y sus intereses, con servicios de consulta local y préstamo a domicilio. La ciudad de Córdoba tenía cerca de 70 bibliotecas, donde la más grande se estima que contenía más de 600 000 libros perfectamente ordenados por categorías y géneros, inventariados y catalogados. Con la introducción del papel, y la fabricación del mismo en establecimientos del imperio y la invención de la pluma, multiplicar los libros existentes y la publicación de nuevos fue relativamente sencillo. Otras bibliotecas famosas fueron la del Cairo y la de Trípoli. Mucho de ese material se ha perdido

o permanece sin ser estudiado y aún se encuentra en su lengua original.

Los árabes inventaron y revolucionaron el concepto de biblioteca, pues eran, a la vez, centros de instrucción y de difusión del conocimiento, las ciencias y las ideas. Eran recintos para el encuentro personal, el intercambio y discusión de ideas; lugares para las tertulias y los trabajos científicos y, en muchos casos, alojamientos para los estudiantes. Como punto de inicio en los servicios de la biblioteca y a disposición del usuario estaba el catálogo, herramienta de investigación, como en las bibliotecas contemporáneas, aunque esta forma ya ha desaparecido en las bibliotecas contemporáneas por la inclusión de tecnologías digitales.

Los árabes realizaron notables avances en todos los campos de las ciencias, no sólo en el acrecentamiento de los saberes, sino también en sus metodologías y procedimientos. Introdujeron el sistema de numeración decimal, que actualmente es usado universalmente, perfeccionaron el álgebra, ahora empleado en todo el mundo científico, así como el propio método científico, muy similar al que se tiene en estos días. Con toda justicia, los sabios musulmanes podrían ser considerados como parte de los fundadores de la ciencia moderna y contemporánea, por sus notables avances de las bases del método científico, el enfoque empírico, experimental, observacional y cuantitativo de los problemas científicos. Los sabios y virtuosos eran los gobernantes, los tecnólogos y los empresarios. En los mismos jardines de los palacios de gobierno estaban las casas del saber.

Uno de esa pléyade de sabios y científicos fue Alhacén. Fue un pionero de la física experimental. Sus contribuciones al método científico fueron el uso de la observación, la experimentación y la cuantificación para probar las predicciones de teorías físicas. Reformó la óptica, probó experimentalmente el mecanismo de la visión, al expo-

ner que los objetos se perciben porque reflejan la luz que entra a los ojos y las imágenes se forman por el cristalino del ojo. Asimismo, inventó y usó la cámara oscura para demostrar la formación de imágenes y la propagación rectilínea de los rayos de luz. Sus trabajos abarcan regiones de la psicofísica, la física, la ingeniería, la psicología experimental, las matemáticas y la astronomía. Se le considera el fundador de la óptica por sus trabajos notables en el estudio de lentes, de espejos, y de las leyes de la reflexión y de la refracción, del arcoíris y de la luz en general.

Es por esto por lo que Alhacén es uno de los científicos más notables de la Edad Media. Además, propuso que la luz de todos los días provenía del sol, que los seres humanos vemos los objetos que no producen luz porque reflejan la luz hacia los ojos y que la atmósfera de la Tierra es finita. Criticó por complicados y artificiosos los trabajos sobre epiciclos de Ptolomeo y los corrigió en su obra *Dudas*. La propuesta de simplicidad en las bases y en las explicaciones científicas permea hasta nuestros días.

Otro de los continuadores de la tradición matemática clásica y de los precursores de los logros contemporáneos en las matemáticas modernas fue el matemático y astrónomo persa Muhammad ibn Musa al-Jwarizmi, más conocido como Al-Juarismi. Él introdujo, preservó, amplió y propagó el área de las matemáticas en estos tiempos llamada álgebra. Esta ciencia consiste en tratar problemas matemáticos generales, donde todas las posibles soluciones, las incógnitas, se anotan con letras, y bajo ciertas condiciones encontrar todas las posibles soluciones. Ejemplo: ¿Qué número (x) elevado a la segunda potencia es igual a ese número más uno? (la traducción a símbolos es muy simple, se escribe así: $x^2 = x + 1$, según nuestra concepción actual). Hay dos números que cumplen con esa condición; sin esta ciencia el procedimiento para obtener la solución sería muy elaborado. Con las herramientas del álgebra,

el planteamiento del problema y la solución son muy sencillas.

Con la ciencia del álgebra se logra mayor generalización, abstracción, y profundidad en el tratamiento de los problemas. Se divide en álgebra elemental y álgebra abstracta. La primera se aprende actualmente en los cursos básicos de matemáticas a nivel de la enseñanza secundaria; la segunda, en tratados y cursos a nivel superior. El álgebra es una de las siete ramas de las matemáticas contemporáneas, las otras ramas son la teoría de los números, la geometría, el análisis, el cálculo, la topología y la geometría diferencial. Todas creadas a lo largo de los siglos.

Fuera del mundo árabe también hubo pensadores que fueron precursores de la transición de la Edad Media al Renacimiento europeo. Una figura notable fue Francis Bacon, y otra, Roger Bacon. Este último nació en Ilchester, Inglaterra por el año 1214. Fue filósofo, científico y teólogo escolástico, es decir, de la escuela de la tradición grecolatina-judeo-cristiana. Además, era versado en la tradición y conocimiento árabes. Propagó en Europa las propuestas empiristas de la ciencia árabe, en contraposición con las formas escolásticas adoptadas y mantenidas en Europa. Su forma de pensamiento empírico se resume en su frase “la puerta y la llave del conocimiento es la experiencia”. Roger Bacon murió en Oxford en el año de 1294.

Cerca de 300 años después hubo otro Bacon, que influyó más decididamente en el pensamiento medieval europeo. Claro, el imperio árabe ya languidecía y sus páginas más gloriosas ya estaban escritas. Darle la estocada de gracia al imperio árabe y al viejo sistema económico inglés resultaba menos complicado y menos peligroso. Inglaterra ya perfilaba para despegar como imperio científico, tecnológico y económico. Transición paulatina que se dio con base en progresos científicos, tecnológicos y por consiguiente, económicos.

Francis Bacon nació el 22 de enero de 1561. Fue un filósofo célebre por convicción, especialmente en los últimos años de su vida, político de carrera, toda la vida al servicio de Inglaterra, abogado por formación profesional y escritor por disposición intelectual. Es considerado el padre del empirismo en Europa. Redescubridor del método científico practicado por los árabes o simplemente un propagador de este. Es una figura decisiva en el desarrollo del método científico y su adopción en Inglaterra y Europa en general. Estas formas de hacer la ciencia, e impartir educación, dieron como resultado la Revolución Industrial en Inglaterra, donde también se estudiaba a Aristóteles. Sin embargo, la penetración de los escritos árabes debió de estar a la orden y, por supuesto, prohibida y perseguida. Es probable que de ellos haya tomado las ideas empiristas.

La leyenda cuenta que durante sus años de estudiante universitario llegó a la conclusión que Aristóteles debía estar equivocado, en su método, en sus formas, en sus procedimientos y en sus conclusiones. Es por ello por lo que abandonó sus estudios para buscar el propósito de la filosofía y el mejor camino para encontrar el conocimiento científico. En su retiro, con cerca de sesenta años, Francis Bacon se ocupa de sus estudios en filosofía y en ciencias. Es aquí donde destaca al dejar tratados que marcan el camino que hay que seguir en la ciencia.

Examinó y replanteó el método de estudio científico en las ciencias naturales. Al igual que en la Grecia clásica, el razonamiento deductivo tuvo preponderancia sobre el método inductivo. Propuso eliminar todo supuesto preconcebido acerca del mundo externo y estudiar a la naturaleza, incluyendo al ser humano, mediante observaciones pormenorizadas y controladas y a partir de estas plantear generalizaciones ejerciendo mucho tacto, sentido común y extrema conciencia. Las observaciones particulares y las generalizaciones propuestas en todo caso deben va-

lidarse mediante la experimentación y la observación. En este proceso los científicos deben ser escépticos, registrar cuidadosamente sus observaciones, medir y analizar, dar y aceptar explicaciones que puedan ser probadas por la observación y la experimentación más cuidadosas.

Dichas propuestas metodológicas para construir el conocimiento ya las tenían los sabios árabes, y las enseñaban en sus instituciones y las usaban para acrecentar su conocimiento, ponerlo a prueba y obtener nuevos desarrollos tecnológicos que incrementaban sus potencialidades económicas. Cuando el imperio árabe perdió impulso y finalmente cedió, otras potencias e imperios económicos surgieron como el inglés y el español. Las ideas, formas y métodos acerca de la naturaleza y la ciencia fueron adoptados por estos imperios por convicción propia o quizá como botín de conquista. Como en un inicio el imperio árabe se benefició del conocimiento clásico.

Las contribuciones de Francis Bacon fueron pocas y muy substanciosas. Su obra capital la intituló *Novum organum o Indicaciones relativas a la interpretación de la naturaleza*. La terminó de escribir cuando tenía cerca de 60 años, como una crítica y reemplazo de la obra *Organum* de Aristóteles usada en todas las universidades del mundo no árabe. A su vez, acabó de escribir *El avance del saber* alrededor de 1605. En estos ensayos critica los métodos del *Organum* de Aristóteles y describe el método empírico para construir el saber, lo cual lo consagrarían como filósofo, científico, escritor y precursor de las metodologías científicas.

Francis Bacon propone que las personas, así como los científicos, son intérpretes de la naturaleza, somos quienes captamos la naturaleza, formamos juicios y conclusiones a partir de estas experiencias; que la verdad científica no se obtiene por autoridad, porque la ciencia no se construye por autoridad sino por experiencia directa

con la naturaleza, toda propuesta debe ser validada por la experimentación, por la observación; que el conocimiento sobre la naturaleza es producto de la experiencia directa con ella porque los principios de las propuestas de descripción e interpretación de la naturaleza se infieren de un número muy grande de hechos particulares; y que la validación del conocimiento científico se puede dar únicamente por medio de la experimentación, porque una propuesta acerca de la naturaleza no es válida *per se*, es válida en cuanto lo predicho por la propuesta coincide con lo medido u observado. En ese proceso hay una labor intelectual ineludible y necesaria.

Las proposiciones lógicas a la Aristóteles y el sistema de razonamiento basado en estas o silogismos, llevado a extremos por los escolásticos o seguidores de Aristóteles, terminó por arruinar todo el conocimiento del mundo natural. Las conclusiones generales se extraían de los datos particulares. Era evidente y necesario un cambio radical, o un abandono completo de esta forma de buscar el conocimiento del mundo natural. El sistema de Aristóteles es autoconsistente, formalmente bien estructurado, pero de ninguna manera refleja conocimiento acerca de la naturaleza de mundo externo. La propuesta de Francis Bacon fue introducir el método experimental en la silogística de Aristóteles y extraer las premisas básicas del razonamiento de la evidencia experimental. De esta forma, el nuevo conocimiento extraído por el procedimiento lógico se referiría al mundo externo también. Sin embargo, todavía habría que validarlo por el método experimental. Este planteamiento significó un avance en la metodología para estudiar el mundo externo y construir el conocimiento de la naturaleza. Es la base del proceder científico de nuestros días, de las empresas científicas de hoy.

En su época, y todavía trescientos años más tarde, el *Novum organum* de Francis Bacon impactó positivamente

te el pensamiento de hombres grandes de ciencia. Albert Einstein se encuentra entre aquéllos, y sigue impactando ya que es muy ilustrativo leerlo.

Estas son algunas de las propuestas básicas del empirismo de Francis Bacon:

- La observación y la experimentación, precisas, metódicas y cuidadosas son las bases irrefutables de toda ciencia natural.
- Los prejuicios y las actitudes preconcebidas o aprendidas deben abandonarse. Francis Bacon distinguió las dependientes del lenguaje o de la tradición. Las debidas a los modos comunes de pensamiento inherentes a la especie o propias del individuo.

El empirismo a la Francis Bacon transformó la sociedad mundial y los beneficios se encuentran a la vista de todos. Asimismo, también contribuyó a la creación del ensayo inglés y fue uno de los grandes exponentes de este género literario con sus obras “Ensayos de moral y de política”, *La nueva Atlántida*, entre otros.

Francis Bacon Fue contemporáneo de Galileo Galilei, uno de los científicos más importantes del Renacimiento europeo. murió en Londres en el año de 1626. Después de sus ideas, Europa transitó hacia la primera revolución industrial.

Desde Galileo y Newton hasta el siglo XX

Galileo Galilei nació en la ciudad de Pisa el 15 de febrero del año 1564. Es posible que haya leído a Francis Bacon y adoptado sus propuestas o bien los fundamentos empiristas de las escuelas árabes le llegaron por otras vías. Lo verificable es que también combatió a Aristóteles con sus propias armas y lo venció. De igual forma vivió los tiempos de cambios radicales en Europa.

Tome esta propuesta de Aristóteles acerca de la aceleración de los cuerpos en caída libre: la aceleración de los cuerpos en caída libre es proporcional a la masa de los cuerpos; mientras más masa tenga un cuerpo más aceleradamente caerá y tardará menor tiempo en caer.

Tome un cuerpo A cualquiera, suponga que tarda un tiempo t_A en caer desde una altura de 10 m y con velocidad inicial cero.

Parta este cuerpo en dos cuerpos B, y C; el cuerpo B es igual al cuerpo C. Sean t_B y t_C los tiempos que tardan los cuerpos B y C respectivamente en caer desde la altura de 10 m y con velocidad inicial cero. Por ser estos cuerpos más livianos que el cuerpo A, tardarán más tiempo en caer. Los tiempos t_B y t_C son iguales, porque los cuerpos son iguales y mayores que t_A porque los cuerpos son la mitad cada uno del cuerpo A. Si se juntan ahora los cuerpos A y B para formar el original y se sueltan de la misma altura y con velocidad inicial cero, el tiempo de caída por un lado sería t_A y por otro lado t_B , o t_C . Esto es un absurdo. Por lo tanto, las suposiciones básicas, tenidas por verdaderas por Aristóteles y sus seguidores, acerca del movimiento de los cuerpos son completamente falsas. También con la evidencia experimental se prueba que son completamente falsas. Los cuerpos caen con la misma aceleración independientemente de su masa.

La solución se obtiene mediante el método experimental, aunado a una cuidadosa ejecución, con enorme ingenio e infinita paciencia. La caída recta vertical es muy rápida, pero usando planos inclinados es posible tener un poco de más tiempo para realizar las observaciones pertinentes. Así procedió Galileo Galilei con el uso de planos inclinados.

Galileo no fue el pionero en la transformación del conocimiento meramente escolástico a un conocimiento empírico y pragmático. La cultura árabe ya tenía este tipo de concepción acerca de las teorías de la naturaleza.

La transformación de la forma de pensar inició en Europa mucho antes que él, y podemos decir que todavía continúa hasta nuestros días, por increíble que pueda parecer. Europa hereda la tradición árabe, le da renovados bríos y la lleva a las formas actuales que permean en casi todo el mundo académico y tecnológico contemporáneo.

La transformación del pensamiento científico en Europa inició oficialmente con Copérnico, con su teoría heliocéntrica del sistema solar, que salió a la luz pública póstumamente. Estas propuestas, de forma limitada, ya las tenían algunas escuelas del mundo clásico al igual que Aristarco de Samos. Copérnico las perfeccionó y las hizo suyas ignorando al Sabio de Samos. Copérnico todavía está influenciado por el mundo clásico. Su obra *Sobre las revoluciones de las esferas celestes* es considerada el punto de partida por las ideas que introduce y que contradicen los cánones oficialmente imperantes en la época.

Nicolás Copérnico nació en Toruń, antigua Prusia, ahora Polonia, el 19 de febrero del año de 1473. Fue religioso quizá por necesidad, doctor en derecho canónico por formación académica, matemático por gusto y habilidades personales, físico, clérigo católico, gobernador, líder militar, diplomático, economista y astrónomo en sus ratos de ocio. Pasó mucho tiempo estudiando en las universidades europeas. Fue antecesor de Francis Bacon quien seguramente conocía su obra.

La propuesta de Copérnico contiene estas ideas principales de avanzada:

- Los movimientos de los cuerpos celestes, planetas, cometas, estrellas, entre otros son uniformes, eternos y circulares o compuestos de diversos ciclos, también llamados epiciclos.

Esta propuesta también los antiguos griegos la tenían. Hoy sabemos que estas características no se cumplen. La idea de movimientos circulares obedece más a una propuesta de tipo estético, simplista y religioso, más que a un hecho observacional o experimental.

- Los movimientos de la Tierra son tres, como sigue: la rotación sobre su eje que da origen al día y la noche; la traslación alrededor del sol; la nutación anual de su eje. Estos dos últimos dan origen a las estaciones del año.

Los antiguos astrónomos también tenían este conocimiento. Actualmente se tienen como válidos también, aunque se sabe que no son los únicos.

- El movimiento retrógrado que se observa en algunos planetas es explicado por el movimiento de la Tierra.

Actualmente sabemos que es el movimiento combinado de la Tierra y el planeta en cuestión lo que es la base para explicar dichos movimientos.

- El movimiento del sol es nulo y el centro del universo se encuentra cerca de él.

Esta idea sabemos actualmente que es falsa y sin sentido. No hay un punto del universo que pueda llamarse centro del universo. Contradecía drásticamente el punto de vista imperante en la época porque se consideraba a la Tierra como el centro del universo, lo que dio origen a profundas disputas religiosas y políticas.

- La distancia Tierra-sol es pequeña comparada con la distancia Tierra-estrellas.

Esta idea también la tenían algunos astrónomos de las escuelas clásicas. Actualmente sabemos que el universo es inconmensurablemente más grande de lo imaginado previamente. No sabemos con exactitud qué tan grande es, aunque se tienen algunas ideas.

- El movimiento de las estrellas es nulo; las estrellas son objetos distantes, fijos y no orbitan alrededor del sol.

Esto también contradecía la propuesta oficial que establecía que todo giraba alrededor de la Tierra. Actualmente sabemos que la propuesta es falsa. Todos los objetos en el universo se mueven unos con respecto a otros.

- El movimiento de Mercurio, Venus, la Tierra y la luna, Marte, Júpiter, Saturno en ese orden desde el sol es orbitando el sol.

Los astrónomos descubrieron a Urano, Neptuno, Plutón y el cinturón de asteroides mucho tiempo después. Actualmente sabemos que es correcto.

La idea revolucionaria en esta propuesta es que la Tierra, o en su defecto el ser humano, no ocupa ningún lugar privilegiado en el universo, está revuelta entre los demás planetas. Es un planeta en tamaño y posición en el universo insignificante, frágil, vulnerable, pequeño y corruptible. Estos atributos son extendidos al ser humano por su relación con la Tierra. El ser humano no es el centro de la creación, ni del universo. Es el centro de la razón que puede usar para entender la naturaleza y aprovecharla en beneficio individual y de la colectividad.

El modelo de Copérnico del universo es más simple y directo que el de todos sus antecesores, y es la base para avances posteriores en astronomía, matemáticas, física y filosofía. Nicolás Copérnico murió en Frombork, Prusia,

Polonia, el 24 de Mayo del año de 1543. Su obra fue publicada póstumamente.

Tycho Brahe, uno de los astrónomos más famoso de todas las épocas, también realizó avances observacionales. Fue el último de los astrónomos antes del telescopio. Nació el 14 de diciembre del año 1546 en el castillo de Knudstrup, en Escania, Suecia. Es el más eminente de todos los astrónomos de antes que se inventara el telescopio. Él mismo construía sus observatorios y los instrumentos de observación y medición. Esta forma de proceder es una constante en los científicos que hacen avances pioneros en las ciencias. Diseñan y construyen sus propios sistemas de observación y experimentación.

Fundó el observatorio de Uraniborg considerado el primer instituto de investigación astronómica de todos los tiempos. Diseñó, construyó y operó instrumentos de medición con calidad muy superior a los empleados por otros astrónomos de la misma época. Además, desarrolló todo un programa de investigación empírica en astronomía. Con precisión inédita, midió las posiciones de las estrellas y planetas noche tras noche, por varios años de acuerdo a su pensamiento: las observaciones, mediciones y registros de la naturaleza deben ser sistemáticas, precisas, por largos periodos.

Brahe tenía su propio modelo del sistema solar. Difiera del de Copérnico en que el sol y la luna giran alrededor de la Tierra y los restantes cuerpos celestes giran alrededor del sol. Es correcto en el sentido en que es lo que ve un observador parado en la Tierra; un observador parado en el sol interpretaría la dinámica de los componentes del sistema solar como lo hace Copérnico. Los dos son correctos. Pero el de Copérnico es más sencillo. Brahe invitó a Kepler a unírsele en esta empresa. Kepler aceptó y fue a trabajar con él en el observatorio de Praga. Al morir Brahe, le heredó una colección muy valiosa de datos, los mejores en el mundo de esa época. Murió el 24 de octubre del año 1601.

Kepler también era un empirista consumado, pero con otras características propias que lo alejaban del pensamiento científico. Pero también pretendía entender los resultados de sus mediciones de primeros principios. Su línea de pensamiento lo sitúa entre los mejores científicos, en el sentido contemporáneo, de todas las épocas, especialmente en astronomía.

Johannes Kepler nació en Weil der Stadt, Alemania, el 27 de diciembre del año 1571. Se formó en instituciones europeas y fue astrónomo, físico y matemático. Como astrónomo fue primerísimo, de infinita paciencia y de intuición profunda. Sus trabajos en astronomía empírica marcaron y transformaron para siempre la filosofía, la física, las matemáticas y la astronomía.

Como ya se mencionó, trabajó con Tycho Brahe midiendo el sistema solar desde la tierra e interpretando los datos obtenidos desde un sistema de referencia anclado en el sol.

El método de Kepler en la ciencia es una mezcla de empirismo, el cual practicó con inigualable maestría y misticismo, esto último poco a poco cedió ante el peso de las evidencias observacionales, por las explicaciones racionalmente fundadas. El método buscó bases filosóficas para dar forma a la evidencia experimental, así como la confirmación pitagórica de la armonía de las esferas celestes en el sistema solar, pero no las obtuvo.

Sus ideas las expuso en su obra *El misterio cósmico* publicada en 1596. La geometría y la naturaleza las malinterpreta. Sin embargo, busca descripciones basadas en las mediciones heredadas de Tycho Brahe que corrijan su camino. Después de mucho probar con óvalos y circunferencias, encuentra que la órbita de los planetas es elíptica porque es la curva que mejor ajusta sus datos. Esto es un salto gigante en la historia de las ciencias. Una elipse y no una circunferencia. La naturaleza no tiene las perfecciones místicas que Pitágoras y sus seguidores le

adjudicaban. Después de todo, el universo no era tan perfecto como se lo había imaginado. En realidad, es más simple. La trayectoria de los planetas es una línea recta en el espacio-tiempo de 4 dimensiones como lo demostraría Albert Einstein 300 años más tarde.

En 1609 publicó su libro *Astronomía nova*. Ahí compiló todo el saber extraído por los métodos empíricos que siguió, de los movimientos planetarios, y elaboró sus primeras dos leyes. La tercera ley la publicó en 1618.

Las tres leyes del movimiento planetario son las siguientes:

1. Las órbitas de los planetas alrededor del sol son elipses con el sol en uno de los focos.
2. El radio vector que une al sol con el planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales.
3. La longitud del semieje mayor de la órbita planetaria elevada a la tercera potencia es proporcional al periodo del planeta alrededor del sol elevado a la segunda potencia.

Estas leyes son la coronación más ambiciosa del programa empírico de Kepler y, por supuesto, de Tycho Brahe. Estas se cumplen no sólo para planetas y estrellas, sino para satélites y, en general, para todo cuerpo que graveite alrededor de uno más grande. Un ejemplo sería una estrella gravitando alrededor de un agujero negro, aunque no se ha comprobado, se asume que las leyes de Kepler también ahí se cumplirían.

En 1627 publicó las *Tablas rudolfinas*, el encargo máspreciado que Tycho Brahe le había pedido. Con ellas los astrónomos de todo el mundo calcularon posiciones de estrellas y planetas. Por más de cien años fueron la herramienta más precisa y confiable de los astrónomos. El mismo Kepler las validó en 1631 al emplearlas para calcular con éxito el tránsito de Venus por el disco solar.

De igual importancia, empezó a entrever los efectos de la gravedad en los fenómenos a escala cósmica y planetaria. Propuso que las mareas son producto del jalón gravitacional de la Tierra y el sol sobre las aguas marinas. Tiempo después los científicos corroboraron este hecho. Johannes Kepler murió en Ratisbona, Alemania, el 15 de noviembre del año de 1630.

Con los trabajos de Brahe, Copérnico y Kepler, el camino que siguió Galileo para construir la mecánica ya estaba muy aplanado y trazado. No fue inmediato, aunque la técnica científica a seguir ya estaba esbozada y él mismo estaba perfeccionándola. Para esto, Galileo se ejercitaba en física, investigaba en óptica, practicaba la ingeniería, discurría en filosofía, y escribía y propagaba sus enseñanzas por las universidades de Europa. Él mismo inventaba, construía y probaba sus instrumentos de observación y medición. A su vez, allanó el camino para la gran síntesis de Newton una generación después, pues puso a prueba experimental la mecánica de Aristóteles y, de paso, su filosofía subyacente.

Otra de las propuestas de Aristóteles acerca del movimiento de los cuerpos fue que cuando la fuerza ejercida sobre un cuerpo cesa, este se detiene. Es una propuesta obtenida de la observación, pero no de una observación penetrante y sagaz. Galileo buscó la respuesta en la evidencia experimental.

Si Galileo arrastra un bloque de madera sobre un piso plano, él observa que cuando deja de aplicarle la fuerza —empuje o jalón— el cuerpo se detiene. Entonces aparentemente Aristóteles tiene razón: cuando la fuerza deja de actuar sobre un cuerpo, este se detiene. Sin embargo, como Galileo lo observa con atino, hay otras situaciones en el mundo físico: a veces el bloque de madera avanza una cierta distancia antes de detenerse, su velocidad va menguando hasta pararse completamente.

Usando planos inclinados —una superficie lisa, de piedra o madera, inclinada con respecto a la horizontal— Galileo se aseguró de aplicar la misma fuerza. Con esto encontró que con la misma fuerza el bloque avanzaba una distancia mayor mientras más bruñidas estaban las superficies de contacto entre el plano y el bloque de madera. La fuerza de rozamiento entre el bloque y la superficie plana no había sido tomada en cuenta. De ahí la conclusión y proposición erróneas de Aristóteles, quien quizá ni siquiera se molestó en observar el fenómeno.

En una situación ideal, Galileo caviló, habría ausencia de todo rozamiento, es decir, de fuerzas externas, por lo que el bloque de madera continuará moviéndose indefinidamente. Lo mismo ocurriría con cualquier cuerpo, independientemente del material con el que estuviera hecho. Galileo empleó las técnicas de observación, de experimentación, la de abstracción y la de generalización para llegar a una conclusión científica. De esta manera lo expresó en su obra escrita: “Un cuerpo en movimiento sobre una superficie horizontal plana continuará en la misma dirección a velocidad constante a menos que sea perturbado”.

Las perturbaciones son producidas por otros cuerpos ajenos a los cuerpos bajo estudio. Entonces, para cambiar la rapidez de un cuerpo y su dirección es menester hacerle interactuar con cuerpos externos. El enunciado anterior de Galileo puede verse como un principio. El principio de inercia establece cómo deviene en el tiempo un sistema físico sobre el que no actúan fuerzas externas. El sistema físico más sencillo es una partícula, es decir, un punto geométrico con masa y de este se forman todos los demás.

También usando la técnica experimental estableció que un cuerpo con aceleración constante, como un cuerpo en caída libre, su distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo de recorrido. Escrito en lenguaje

geométrico, como Galileo lo escribió, se antoja más complicado de lo que lo es. Escrito en lenguaje algebraico moderno se ve muy simple y directo.

A Galileo se le reconocen muchos inventos creados a lo largo de su larga carrera científica. El termómetro, el perfeccionamiento del telescopio, un compás para aplicaciones militares, algunos tipos de relojes, entre otros instrumentos. Asimismo, realizó varios descubrimientos científicos entre los que se encuentran los siguientes: las manchas solares, los cráteres de la luna, los satélites de Júpiter, la superficie del planeta Marte, la composición estelar de la Vía Láctea, los anillos de Saturno, entre muchos otros.

Por razones políticas llamó a los satélites de Júpiter que descubrió astros mediceos I, II, III y IV, en nombre de su antiguo estudiante Cosme II de Médicis a la sazón gran duque de Toscana. Este descubrimiento también apuntaló el ataque contra el sistema ptolemaico y contribuyó a derribarlo. La Tierra no es el centro de todo el universo, con los hechos observables se demuestra así.

Galileo, además, planteó y llevó a cabo un experimento, para medir la rapidez de traslación de la luz. Con ayuda de un asistente, y usando sendas lámparas, separado él y su ayudante una distancia conocida, Galileo destapa su lámpara y empieza a medir el tiempo. Cuando su ayudante ve la luz de la lámpara destapa la suya. Cuando Galileo ve la luz de la lámpara de su ayudante detiene su reloj. En principio el método es correcto, sin embargo, los reflejos humanos son muy lentos. Su conclusión fue la siguiente: “si no es infinita la rapidez de la luz, es extraordinariamente rápida”. En el experimento anterior plasma toda su genialidad e ingenuidad de científico. No es evidente que la luz deba desplazarse con una cierta rapidez por el espacio. Así es, y es clave para desarrollos posteriores de la física y de la ciencia en general.

Igualmente, elaboró el principio de la relatividad, ahora llamado de Galileo, aunque ya era conocido por los antiguos griegos. Se enuncia de la siguiente forma: “las leyes de la naturaleza son independientes del sistema de referencia inercial con respecto al cual se escriban”. Si se tiene la superficie de la Tierra como un sistema de referencia y la plataforma de un avión que se desplaza con velocidad constante como otro sistema de referencia, entonces las leyes de la naturaleza escritas en un sistema o en el otro son equivalentes. Este es un resultado sumamente profundo. No hay algo que pueda llamarse reposo absoluto y cualquier sistema de referencia inercial es igualmente válido como base para describir la naturaleza. Un sistema de referencia que se desplaza con velocidad constante y uniforme con respecto a un sistema de referencia inercial, también es inercial.

Galileo, en diciembre del año 1604, observó la aparición de una supernova. La misma supernova que avistó y estudió extensamente Kepler (SN 1604), y que por esto se le llama supernova de Kepler. Tycho Brahe avistó y estudió otra aparecida en 1572 (SN 1572), que es diferente a la de Kepler. Tycho no pudo pedir el paralaje de esta supernova, lo que se interpreta como que la distancia a la supernova es muy grande, localizada fuera del sistema solar. Debido a esto, Galileo modificó su aristotélica concepción del cosmos, de los cielos y de la Tierra. En pocos días el brillo de la supernova dejó de ser visible.

Las meditaciones continuaron de esta manera: los cielos no son inmutables, eternos, perfectos, calmos y puros como lo refería Aristóteles; suceden cambios como en cualquier parte de la Tierra y deben de ser tan dinámicos como en la Tierra, o más; entonces las leyes que describen su devenir deben ser las mismas. Esta es una propuesta de unificación de la descripción de lo que sucede en la Tierra y de lo que sucede en los cielos. Las condiciones podrían ser diferentes, empero, las leyes de-

berían ser las mismas. La naturaleza es única. No hay naturaleza mundana y naturaleza divina.

Asimismo, vio y propuso claramente que las leyes de la naturaleza tienen una representación matemática, dentro de la más acertada tradición pitagórica. La matemática es el lenguaje en el que está escrito el gran libro de la naturaleza. Esta es otra generalización planteada por Galileo. Él mismo llevó a cabo este programa al darle forma matemática a las leyes que descubrió y planteó. Por ejemplo, la ley de la caída libre de los cuerpos, dentro del programa de investigación propuesto por Pitágoras.

De igual forma, no aceptó los resultados de Kepler acerca de las órbitas planetaria, porque consideraba que deberían ser circularmente perfectas. Esta declaración es contraria al empirismo del genio de Pisa. No basó su decisión en el análisis de las evidencias experimentales de Kepler sino en una creencia aristotélica imperante en la época, o no quiso aceptarlos por celos al genio de Praga.

Galileo y Kepler eran contemporáneos. Galileo nace siete años antes que Kepler y muere doce años después que él. Dos astros refulgentes en los cielos de la ciencia que sus tiempos de vida se entrelazan. Kepler conoció de los logros en astronomía que Galileo completó debido al empleo del telescopio. Supo de los satélites de Júpiter descubiertos por Galileo y sugirió llamarlos Ío, Ganímedes, Europa, Calixto. Ahora conocidos también como satélites galileanos. Los nombres propuestos por Kepler se adoptaron y han llegado hasta nuestros días.

Galileo, no aceptó la propuesta de otros acerca del origen de los cometas, como objetos que están fuera del sistema Tierra-luna, a pesar de la evidencia observacionales en las que se sustentaban. De igual forma consideraba que son fenómenos atmosféricos, meteorológicos e ilusiones ópticas. Sus ideas estaban erradas. Aún en estos días el origen de los cometas, su papel en el universo, es desconocido. También traicionó sus méto-

dos y sucumbió a las creencias de la época y a la tradición aristotélica.

También, ideó un sistema para determinar la longitud que se basa en observaciones astronómicas. Este problema era crucial para la navegación marítima de la época, los estados que se disputaban la supremacía de los mares, como Inglaterra y España, ofrecían grandes sumas de dinero para el científico que lograra resolverlo. En principio, la propuesta de Galileo es correcta pero muy impráctica. No prosperó. Se resolvió con la invención de reloj pequeño, mecánico, tipo de bolsillo que John Harrison inventó para Inglaterra. Le pagaron la mitad del premio en agosto de 1765, y la otra mitad hasta 1782 por intervención del rey Jorge III de Inglaterra. Harrison triunfó al igual que la ciencia y la tecnología de Inglaterra.

Galileo rechazó las ideas de Kepler acerca del origen de las mareas, que asumían que las mareas son producidas por la atracción lunar —y también solar—. Él suponía que las mareas son producidas por la rotación de la Tierra. Su propuesta no prosperó porque es incorrecta. La propuesta de Kepler sobrevive la evidencia experimental y observacional, por lo tanto, es la correcta.

También mantuvo disputas encarnizadas con los varones de la iglesia y la autoridad religiosa. La disputa es materia de autoridad, de ciencia, de política, de finanzas, de sobrevivencia institucional, de credibilidad social. Los criterios contemporáneos en los que se basa la ciencia se estaban formando y los criterios sobre los que se basa la religión tenían ya más de 1200 años de haberse creado y eran sostenidos en muchas partes del mundo.

Las verdades, o preceptos, de la religión eran mantenidas por la fuerza, el miedo, el terror, la ignorancia y el sustento de la autoridad. Y esta forma es incompatible con los métodos empleados para construir verdades en la ciencia, basados en la observación y la experimen-

tación, o leyes y principios científicos. Sin un criterio externo para decidir, la disputa carece de sustento y valor. El triunfador es el más fuerte y el más fuerte en el tiempo de Galileo era la autoridad religiosa.

Galileo fue acusado, enjuiciado y condenado por la autoridad religiosa. Prisión vitalicia conmutada por arresto domiciliario fue la pena a pagar. Sin embargo, continuó investigando y escribiendo a hurtadillas hasta el final de su vida, ya invidente, con la asistencia de sus discípulos. Otros científicos no tuvieron la misma suerte, como Jordano Bruno quien murió en la pira acusado de herejía, por su forma de pensar, en 1600.

Ante el juicio condenatorio a Galileo, otros científicos ocultaron sus obras, como René Descartes. La sociedad mundial perdió inmensas oportunidades de progreso y desarrollo. El bloque mundial donde la autoridad religiosa dominaba quedó inmerso en la ignorancia por muchos años y se limitó el progreso científico por varias generaciones. México y Latinoamérica en general, quedaron por 300 años en este bloque de países, y lo siguen estando en muchos sentidos.

Es hasta el año 2014 que los documentos donde se plasma el juicio a Galileo son dados a la opinión pública, 381 años después de su condena. Galileo quedó absuelto. Su obra, su metodología, y sus técnicas lo sitúan entre los científicos más grades de todas las épocas. Albert Einstein se refirió a él con estas palabras: “Galileo es el padre de la física moderna y también de la ciencia moderna”. Stephen Hawking, en su obra *A hombros de gigantes*, escribió: “tan grandes fueron las contribuciones a la física contenidas en *Dos nuevas ciencias* que los académicos han mantenido por mucho tiempo que este libro anticipó los principios de la mecánica de Isaac Newton”.

Pero también se le puede considerar el padre de la astronomía moderna, por la introducción del telescopio, el uso que le dio y los significativos logros que obtuvo, au-

nados a los cambios filosóficos radicales en la concepción del universo, su constitución y su devenir. El universo, objeto de estudio de los astrónomos, empezó a ser inspeccionado a distancias cada vez más lejos y con mayor detalle por medio del telescopio que él introdujo y que sigue vigente hasta nuestros días.

Galileo escribió profundamente. Su obra fue iluminadora, revolucionaria, preclara y mordaz. Cambió los cánones de la sociedad europea de su época. La obra escrita es amplia en temas y compacta en esencia. Los libros *Dos nuevas ciencias* y *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* son sus obras más destacadas. Con ellas fundamenta los cambios científicos y tecnológicos que vendrán en los siglos posteriores. Galileo Galilei murió en la ciudad de Arcetri el 8 de enero del año 1642.

En tierras más aptas, y en sociedades más libres y tolerantes, para el florecimiento del pensamiento científico la obra de Galileo brotó, echó raíces y dio frutos asombrosos. En cambio, en las tierras donde no prosperó se rezagaron la libertad, la ciencia, la tecnología, la economía y el progreso material.

El reloj de John Harrison, la física y la tecnología creadas por mentes excelsas, apuntalaron la construcción del Imperio británico más que los cañones y los barcos de los ejércitos de la Corona. En poco tiempo el Imperio británico ya estaba desparramado por todo el orbe. La utilidad de la ciencia basada en principios empíricos, como descriptora e interpretadora de la naturaleza, y matriz generadora de tecnología y de riqueza se reconocía completamente.

El año en que murió Galileo nació Isaac Newton, un 25 de diciembre del año 1642 en Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra. Fue continuador y finalizador de la obra científica revolucionaria de Galileo, dentro del movimiento oficialmente iniciado por Copérnico.

Newton atendió al Trinity College, Cambridge, donde estudió las obras de Kepler, Descartes, Galileo, Apolonio,

Arquímedes de Siracusa y, por supuesto, Aristóteles, pues todavía era obligatorio estudiarlo. Por su cuenta estudió matemáticas, filosofía, astronomía, y óptica. Alrededor de 1665 desarrolló la teoría del cálculo, la gravitación universal y la óptica.

La obra de Isaac Newton fue continuación de la obra iniciada por René Descartes y Galileo Galilei entre otras personalidades del Renacimiento científico. Descartes fue proponente del mecanismo de la naturaleza y delineó de forma muy general la mecánica de los móviles, que una generación después Isaac Newton formuló impecablemente y con gran maestría. Descartes escribió en su libro *Principios de la filosofía* lo que preludiaba el Principio de la inercia en la mecánica de Newton: “cada parte de la materia, en particular, continúa siempre en el mismo estado, mientras el encuentro con otras no la obligue a cambiar”.

Las ideas acerca de la atracción de los cuerpos también existían por la época de Newton. Científicos, aparte de los ya citados, como Huygens, G. A. Borelli, G. P. de Roberval, Fermat o Hooke, tenían ideas claras y dispersas de todos los temas de la física tratados en la época de Newton, e incluían la mecánica, la gravitación, y la óptica.

Robert Hooke le escribió a Newton en una carta lo siguiente: “supongo que la atracción es siempre inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro [...] la atracción a una distancia considerable puede calcularse según la proporción ya establecida como emanando del centro mismo”.

Esta es la referencia más directa de que Robert Hooke ya tenía, antes que Newton, la ley de gravitación universal. Sin embargo, Newton caló mucho más hondo en el entendimiento de la naturaleza, al proponer la forma analítica para la gravitación universal. También dedujo las leyes de Kepler del movimiento planetario usando sus principios de la mecánica.

Newton sistematizó y sintetizó todo el saber mecánico y óptico de su época. El primero, en su libro *Principios matemáticos de la filosofía natural*; el segundo, en su libro *Óptica*. El lenguaje matemático de Newton es la geometría, como lo fue el lenguaje de sus predecesores Descartes, Galileo y otros. Con su método de las fluxiones, ahora llamado cálculo integral y diferencia, logró impresionantes avances en la descripción matemática de la naturaleza que transformaron para siempre la ciencia y la tecnología.

En *Principios matemáticos de la filosofía natural* Newton define el tiempo, el espacio, el lugar, la masa y el movimiento. Cada uno de estos es ya absoluto, ya relativo, dependiendo de las relaciones entre diferentes sistemas, y establece los tres axiomas, o principios, de la mecánica clásica. Además unifica la mecánica de los cuerpos terrestres con la mecánica de los cuerpos celestes bajo los mismos principios físicos, matemáticos y filosóficos. Normalmente en los libros de texto y las clases formales en la universidad se les llama leyes, pero estrictamente hablando son principios. De esta forma, ordena el conocimiento sobre el mundo externo de la misma forma en que está ordenado la geometría clásica de Euclides. Los principios de la mecánica clásica, o los principios de Newton de la mecánica clásica, son como sigue:

Principio I.

Todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, a menos que sea compelido a cambiar ese estado por fuerza que actúan externamente sobre él.

Principio II.

La alteración del movimiento, cambio en la cantidad de movimiento con respecto al tiempo, es siempre proporcional a la fuerza impresa, y se realiza en la

dirección de la línea recta en la cual la fuerza es impresa.

Principio III.

A cada acción existe siempre una reacción opuesta e igual; o las acciones mutuas de dos cuerpos sobre cada uno de ellos son siempre igual, y dirigidas a partes contrarias.

La teoría de Newton es una teoría sobre las fuerzas y sobre el cambio del estado de movimiento de los sistemas físicos debido a las fuerzas externas ejercidas sobre los sistemas físicos. La propuesta de un mundo regido por preceptos meramente geométricos, cinemáticos, fue evolucionando a una propuesta de un mundo regido por fuerzas, dinámico, causal. Ninguna propuesta, puramente dinámica o puramente cinemática, da cuenta completamente de universo. Se requieren las dos, y no todas las fuerzas del universo se ajustan a los principios de Newton. Las fuerzas de tipo mecánico se ajustan muy bien a estas propuestas; pero no las magnéticas. Sin embargo, las fuerzas gravitacionales sí se ajustan a sus principios.

Newton formuló una teoría de la gravitación universal estableciendo el siguiente principio: “La fuerza de atracción entre dos masas se da en la línea separación de las masas, y es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación entre las masas”. La fuerza es de alcance infinito. Actúa sobre todos los cuerpos del universo. También propuso que es de acción instantánea. Actualmente sabemos que es la velocidad de propagación de esta fuerza es finita y coincide con la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío, pero nadie la ha medido. En muchos sentidos, la ciencia contemporánea sigue siendo aristotélica y sigue siendo antropocéntrica.

Con este principio, más los tres anteriores, Newton logró obtener las leyes de Kepler, que ya había establecido experimentalmente una generación antes. De ahí el triunfo de la mecánica de Newton. Sin embargo, Newton reconoció que no ha sido capaz de descubrir las causas de las propiedades de la gravitación a partir de las observaciones, y tampoco aventuró alguna tesis o hipótesis para explicarlas, sostenerlas o entreverlas. Le parecía suficiente que la gravedad existiera y que actuara de acuerdo a las formas descritas en su principio de gravitación universal, y que sirviera completamente para dar cuenta de todos los movimientos de todos los cuerpos celestes para justificar su introducción en la mecánica.

El principio de la gravitación universal coronó toda la mecánica clásica. Junto con los tres principios de la mecánica de Newton, estos unificaron la descripción de los fenómenos terrestres y celestes bajo un único esquema conceptual e inició la descripción matemática del mundo natural. Hay una sola mecánica para describir los cambios de estado de todos los sistemas físicos observados en la naturaleza. Empero, tan perfecto como podría parecer el marco teórico y conceptual de Newton, este marco no es único. Hay otras formas, que a veces se toman como complementarias de hacer la descripción de la naturaleza. Por ejemplo, en términos de principios variacionales, en términos de simetrías y en términos de principios de conservación de cantidades como la energía, momento, etc.

En la actualidad se tienen los principios de conservación en la física clásica. Son mucho más generales que los principios de Newton o principios de la mecánica clásica para describir la naturaleza porque tienen validez en todas las áreas de la física, y a todas las escalas conocidas: El principio de conservación de la carga eléctrica, el principio de conservación del momento lineal, el principio de conservación de la energía, el principio de conserva-

ción de la masa-energía, el principio de conservación de la probabilidad y el principio de conservación del momento angular.

En su obra *Óptica*, Newton trata la teoría de la luz, del color y de los sistemas ópticos. Y en esa misma obra Newton anota: “la luz no es similar u homogénea, sino que consiste de rayos disformes, algunos de los cuales se refractan más que los otros”. Newton planteó que la luz está compuesta de corpúsculos. C. Huygens, contemporáneo de él, propuso que la luz está compuesta de ondas e incendió una larga disputa con el receloso físico, que culminó con la derrota temporal del parco y vengativo Newton.

Los resultados experimentales desprendidos del experimento de Young favorecieron la conclusión de que la luz es una onda y las propuestas de Newton poco a poco se fueron olvidando. Esta aceptación se mantuvo hasta que en 1905 Albert Einstein trajo de nuevo el concepto de corpúsculo a la óptica física en su teoría del efecto fotoeléctrico. La idea de Newton de que la luz está compuesta de corpúsculos renació, pero con una connotación radicalmente diferente, con propiedades disímiles.

Con estas dos obras transformó para siempre la ciencia, y se establece el patrón de lo que debe entenderse por ciencia y sus métodos. El modelo de una teoría física es la mecánica de Newton y el modelo del universo es el mecánico. Es una teoría de teorías. Es el modelo de una teoría física. Isaac Newton murió en Londres el 20 marzo del año 1727.

Los desarrollos de la mecánica posteriores son realizados por matemáticos notabilísimos como Euler, Lagrange, Hamilton, Jacobi, etc. Ellos crean la mecánica analítica y completan el esquema de la matematización de las teorías físicas, elaborando la física matemática.

Paralelamente a la creación de la mecánica de Newton se creó una teoría de la electricidad y el magnetismo

con figuras notables como Coulomb, Ampere, Lenz, Ohm, Faraday, Gauss, Gilbert, Oersted, Weber, Tesla, Kirchhoff, Laplace, Poisson, Green, Maxwell y otros muchos.

Como en la antigüedad clásica, en la Inglaterra del siglo XVIII se crearon instituciones como la Royal Institution en Londres por visionarios de la ciencia y la tecnología, como el conde Rumford, con estas líneas como justificante: “un establecimiento en Londres para la difusión del conocimiento de mejoras mecánicas útiles [...] enseñar la aplicación de la ciencia a los propósitos útiles de la vida”.

El conde Rumford proponía, en esta nueva institución, una innovación de tipo educativo y científico que pocos lo habían intentado antes, para dejar que la ciencia fuera vista como ajena a la vida diaria. El encargado, y especialmente contratado para estas actividades, fue el químico Humphry Davy, a la sazón con poco más de veintidós años, y precedido de fama como químico por haber descubierto el óxido nitroso, mejor conocido como el gas de la risa por los efectos eufóricos que produce; también se le usa como anestésico en consultorios dentales, y está en la lista de los cien medicamentos más útiles de la Organización Mundial de la Salud.

Davy empezó su primera presentación científica para el gran público, que incluía figuras prominentes de la sociedad londinense, de esta manera: “El amor al conocimiento y a las potencias intelectuales es una facultad que pertenece a la mente humana en cada estado de la sociedad; y este es uno por los que está justamente caracterizada —el que más vale la pena ser cultivado y extendido—”. También las facultades poéticas de Davy eran evidentes y ya estaban al servicio de difundir el conocimiento científico.

Davy contrató a Michael Faraday como asistente, a petición del mismo Faraday, uno de los físicos experimentales más brillantes de toda la historia. Autor de muchos descubrimientos científicos desde el punto de vista

experimental, y dueño de una intuición sin igual. Autor de conceptos como campo físico de fuerzas —concepto fundamental en la ciencia contemporánea— campo eléctrico, campo magnético, campo gravitacional y de otros muchos conceptos, todos establecidos desde el punto de vista experimental. Creador de las bases experimentales para las formulaciones profundísimas de Maxwell de la electricidad y magnetismo.

Maxwell, en su *Tratado de electricidad y magnetismo*, publicado en tercera edición en 1891, unifica todo el conocimiento de la electricidad, el magnetismo y la óptica de su época. Es una obra sintetizadora y unificadora, como los *Principia* de Newton, y sigue la forma axiomática de construir el conocimiento científico. En su *Tratado* escribió lo siguiente:

Las características generales del tratado difieren considerablemente de aquéllas encontradas en muchos y excelentes trabajos de electricidad, publicados, la mayoría, en alemán, y puede parecer poca justicia hecha a las especulaciones de muchos eminentes estudiosos de la electricidad y matemáticos. Una razón de esto es que antes de que empezara a estudiar la electricidad resolví no leer matemáticas sobre el tema hasta que hubiera leído completamente el libro de Faraday *Investigaciones experimentales en electricidad*. Estaba consciente que debería de haber una diferencia entre las formas de concebir de Faraday de los fenómenos y la de los matemáticos, de tal suerte que ninguno de ellos estaba satisfecho con el lenguaje del otro.

La electricidad y magnetismo de Maxwell está basada en cuatro principios, representados en sus ecuaciones, todos de extracción netamente experimental. La formulación matemática, en el lenguaje del análisis vectorial, o en general en términos del análisis tensorial, es muy sintética, compacta y hermosa. Originalmente, Maxwell escribió su obra usando lenguaje geométrico y algebraico, la for-

mulación al lenguaje vectorial es inmediata. Lo realizaron otros autores como Oliver Heaviside, físico y matemático inglés, quien fue discípulo de Charles Wheatstone.

Estos son los cuatro principios de la electrodinámica de Maxwell:

Principio I.

Se le llama Ley de Coulomb. En efecto, es un principio, no es una ley. Le llamamos principio de Coulomb. Las fuentes de campo eléctrico, y fuerza eléctrica, son las cargas eléctricas. El flujo de campo eléctrico a través de una superficie que rodee a la carga eléctrica es proporcional a la cantidad de carga eléctrica encerrada por la superficie. El factor de proporción en el vacío es la permitividad eléctrica del vacío. De esta forma se le llama principio de Gauss de la electrostática.

De forma equivalente: la fuerza eléctrica entre dos cargas eléctricas puntuales está dirigida en la línea que une las cargas eléctricas y es directamente proporcional al producto de las cargas eléctricas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa las cargas eléctricas. Escrita de esta forma le llamamos principio de Coulomb de la electrostática, o simplemente principio de Coulomb.

Esta expresión es análoga a la expresión de la ley de gravitacional universal de Newton. Esta analogía no es un accidente de la naturaleza, es algo profundo que tiene que ver con la estructura del espacio físico. La carga eléctrica es análoga a la masa gravitacional. La carga eléctrica es una propiedad de la materia, como lo es la inercia.

Principio II.

Se le llama ley de Gauss. Es un principio, no es una ley. Le llamamos principio de Gauss del magnetis-

mo. Las fuentes de campo de inducción magnética, y fuerza magnética, son los dipolos magnéticos. El flujo de campo magnético a través de una superficie que rodee al dipolo magnético es cero.

De forma equivalente: no existen los monopolos magnéticos. Toda búsqueda de monopolos magnéticos ha sido infructuosa hasta estos días.

Principio III.

Se le llama ley de inducción de Faraday. Es un principio, no es una ley. Le llamamos principio de inducción de Faraday. Las variaciones en el espacio del campo eléctrico son opuestas a las variaciones en el tiempo del campo de inducción magnética.

El signo menos en la frase anterior “son opuestas” se le llama ley de Lenz. Técnicamente es un principio, no es una ley. Le llamamos principio de Lenz.

Principio IV.

Se le llama ley de Ampere-Maxwell. Técnicamente es un principio, no es una ley. Le llamamos principio de Ampere-Maxwell. Las variaciones en el espacio del campo de inducción magnética son directamente proporcionales a la suma de las variaciones en el tiempo del campo eléctrico más directamente proporcional a la densidad de corriente eléctrica.

El campo de inducción magnética es directamente proporcional al campo magnético. El factor de proporcionalidad es la permeabilidad magnética del medio donde se estén midiendo estos vectores. La permeabilidad magnética del aire, del vacío, del plomo, etc. tienen distintos valores.

El campo de desplazamiento eléctrico es directamente proporcional al campo eléctrico. El factor de proporcionalidad es la permitividad dieléctrica del medio material.

El inverso de la raíz cuadrada del producto de la permeabilidad magnética del vacío y la permitividad dieléctrica del vacío es igual a la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. Esta es la gran predicción que se tiene en la teoría de Maxwell. La luz es una onda electromagnética, y hay ondas electromagnéticas de longitudes de ondas en un amplio rango de valores, desde miles de kilómetros, del tamaño de la distancia entre la tierra y el sol, hasta longitudes de onda muy cortas como el tamaño de los núcleos atómicos.

De los principios de la electrodinámica de Maxwell se obtienen las explicaciones y las descripciones de todos los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos a nivel macroscópico que se conocen. Es una teoría de unificación. Unifica los fenómenos magnéticos y eléctricos con los fenómenos ópticos.

La famosa ley de Ohm, para circuitos eléctricos, que toda persona aprende a nivel de educación secundaria, se establece en términos del campo eléctrico y densidad de corriente eléctrica de la siguiente forma: la densidad de corriente que se establece en un circuito eléctrico es directamente proporcional al campo eléctrico aplicado en el circuito; la constante de proporcionalidad es la conductividad eléctrica del material del que está hecho el circuito. Escrito de esta forma se le llama principio, porque se obtiene por observación directa de la naturaleza, principio de Ohm. La proposición es la siguiente: la corriente eléctrica en un circuito eléctrico es directamente proporcional al voltaje aplicado en el circuito e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica del circuito, se le conoce como ley de Ohm, porque se deduce lógicamente de la primera propuesta.

Todo lo que sucede en un circuito eléctrico, y hasta cierto nivel en todo circuito electrónico, es descrito por

los principios de Maxwell: cómo oscilan, cómo producen calor, cómo generan ondas electromagnéticas, cómo producen luz, etc. Los circuitos eléctricos de los hogares que controlan todos los aparatos electrodomésticos, las líneas de transmisión de electricidad, la generación de electricidad; el funcionamiento de los motores eléctricos, la maravillosa transmisión y recepción de señales por radio, por cable, por televisión, por satélite, por teléfono fijo o celular, por internet, etc. son otros ejemplos de las aplicaciones de la teoría electromagnética de Maxwell. La forma de vida del siglo XXI no sería posible sin esta teoría electromagnética que ha derivado en la tecnología que actualmente todos tenemos a la mano.

En la electrodinámica de Maxwell, publicada en 1865, se predice la existencia de las ondas electromagnéticas, que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío con una velocidad de 300 000 km/s. La confirmación experimental la realizó Heinrich Rudolf Hertz en 1885. La conclusión es inmediata: la luz es una onda electromagnética. En los intentos de producir y detectar las ondas electromagnéticas descubrió que cuando incide luz sobre un metal se genera una corriente eléctrica, este fenómeno se conoce como efecto fotoeléctrico.

La electrodinámica de Maxwell fue un avance significativo en el entendimiento de la naturaleza. Fincó firmemente todos los desarrollos tecnológicos en electricidad y magnetismo del siglo XX, además de dar origen a la electrónica, a las telecomunicaciones y a la computación del siglo XX y XXI. Fue también el germen para desarrollos posteriores también muy trascendentales: la teoría especial de la relatividad, y de ahí la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica, para abrir paso a la mecánica cuántica.

También se avanzó, paralelamente, al entendimiento de los fenómenos eléctricos, magnéticos y termodinámicos. Se estableció la termodinámica, con sus principios

cero, primero, segundo, y tercero, todos establecidos desde el punto de vista experimental. Estos son los siguientes:

Principio I.

También se le llama ley cero de la termodinámica, aunque no es una ley, es un principio. Existe una propiedad física común a todos los cuerpos, o sistemas, en equilibrio termodinámico mutuo llamada temperatura empírica. En otras palabras, dos sistemas físicos a diferentes temperaturas, puestos con contacto termodinámico, evolucionarán hasta tener la misma temperatura.

Principio II.

También se le llama primera ley de la termodinámica y tampoco es una ley, es un principio en toda la extensión de la palabra. Es el enunciado del principio de conservación de energía en sistemas termodinámicos. Si un sistema recibe trabajo, o bien hace trabajo sobre otro sistema, la energía interna del sistema cambiará. La energía total antes del evento es igual a la energía total después del evento.

Principio III.

Llamada también segunda ley de la termodinámica; es un principio físico, no es una ley. Una máquina térmica cíclica que únicamente convierta íntegramente a trabajo una cantidad de calor absorbido de otro sistema, es imposible, o de otra forma: en todo proceso termodinámico la entropía siempre se incrementa.

Principio IV.

Llamado también tercera ley de la termodinámica; es un principio físico y no una ley como se enuncia comúnmente. No pertenece a la termodinámica clásica, pertenece a la mecánica estadística cuántica.

Se enuncia así: “es imposible que un sistema físico adquiriera la temperatura del cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos”.

La atención a los fenómenos termodinámicos empezó a la par con la atención a los fenómenos mecánicos. Los antiguos griegos los observaron y los distinguieron. Galileo mismo fue constructor de termómetros. Newton también contribuyó al estudio del calor.

La versión completa que se tiene actualmente es obra de muchos físicos e ingenieros como Sadi Carnot, Daniel Bernoulli, John James Waterston, Thomas Young, Benjamin Thompson (conde Rumford), Julius Robert von Mayer, James Prescott Joule, Hermann von Helmholtz, Rudolf Clausius, William Thomson (lord Kelvin), Johannes van der Waals, Walther Nernst, Josiah Willard Gibbs, Ludwig Boltzmann, Max Planck, Percy Williams Bridgman y el mismo James Clerk Maxwell, contribuyeron al establecimiento de la termodinámica clásica sobre bases firmemente experimentales.

El desarrollo de mejores y más eficientes termómetros, de motores de combustión interna eficaces, el aprovechamiento de la energía geotérmica y otros muchos logros, tienen como base de desarrollo los adelantos en la termodinámica clásica y la mecánica estadística clásica. Hasta antes del siglo XX se habían logrado la mecánica clásica de Newton en su versión y en la de Lagrange, Hamilton y Jacobi. También la mecánica analítica, la unificación en un esquema teórico de todos los movimientos terrestres y celestes. A su vez, se había logrado la electrodinámica de Maxwell que unifica bajo los mismos principios todos los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos, la termodinámica clásica y la mecánica estadística.

Al inicio del siglo XX había muchos problemas en la física sin resolver. El efecto fotoeléctrico, el espectro de radiación de emisión y absorción de los átomos, el espec-

tro de radiación del cuerpo negro, la inconsistencia entre la mecánica de Newton y la electrodinámica de Maxwell, la radiación desprendida de los átomos —la radioactividad—, las propiedades de los elementos de la tabla periódica, la constitución de los átomos, los rayos X, la no existencia del éter, los rayos cósmicos, la rotación del plano de la órbita del planeta mercurio —o la rotación del perihelio del planeta Mercurio—, la estabilidad de las estrellas, principalmente. Todos ellos resultados de observaciones y experimentos muy bien elaborados.

Todos estos problemas marcaron los desarrollos de la física en el siglo XX y sentaron las bases para el desarrollo de la física del siglo XXI. Hay dos que no están delineados al inicio del siglo XX y que influyeron poderosamente: la física nuclear, en general la física de las partículas elementales y la cosmología.

Desde el siglo XX hasta nuestros días

La mecánica de Newton, la mecánica clásica y la electrodinámica de Maxwell son incompatibles. Los principios de la mecánica clásica son invariantes ante cierto tipo de transformaciones llamadas transformaciones de Galileo. Estas transformaciones, al pasar la descripción de los fenómenos físicos de un sistema de referencia a otro, dejan invariantes el tiempo, la masa y los tres principios de la mecánica clásica. Así se cumple el principio de la relatividad de Galileo en la mecánica clásica.

Los principios de la electrodinámica clásica, o de Maxwell, no son invariantes ante las transformaciones de Galileo. Entonces la mecánica clásica, o la electrodinámica clásica, es incorrecta, o por lo menos no totalmente correcta. Varios físicos, entre ellos Hendrik Lorentz, trataron en vano de hacer compatibles ambas teorías.

Resultó que la mecánica de Newton es válida sólo a bajas velocidades comparadas con la velocidad de la luz;

la electrodinámica de Maxwell es válida a todas las velocidades, incluyendo la velocidad de la luz. El espacio absoluto y el tiempo absolutos son reemplazados por el espacio y el tiempo relativos. Las nuevas transformaciones, ante las cuales la electrodinámica de Maxwell es invariante, reciben el nombre de transformaciones de Lorentz, en su honor, ya que las propuso por primera vez. La nueva mecánica, invariante ante transformaciones de Lorentz, es la mecánica relativista de Albert Einstein.

El método científico contemporáneo no se basa más en la deducción a partir de supuestos evidentes por sí mismos y elaborados mediante el pensamiento únicamente. En nuestros días la ciencia se construye sobre principios obtenidos mediante la observación como fundamento y punto de partida. El método lógico de la ciencia ahora es preponderantemente inductivo y no deductivo, en vez de obtener conclusiones desprendidas de un conjunto de generalizaciones autoevidentes, la inducción inicia con una serie de observaciones de hechos particulares y plantea propuestas generalizadas a partir de las primeras. Los principios de la teoría especial de la relatividad son ejemplos claros de esta forma contemporánea de construir las ciencias.

Principio 1.

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es una constante universal y absoluta de la naturaleza. No depende de la velocidad de la fuente emisora de las ondas electromagnéticas.

Principio 2.

Las leyes de la naturaleza son independientes del estado de movimiento del sistema de referencia con respecto al cual se formulen.

El segundo principio no es una invención de escritorio de algún físico. Es el resumen, elevado a la categoría de prin-

cipio, de muchas experiencias como la siguiente: un reloj, con su cambio monótono de los segundos en la pantalla digital, estacionario en un avión jet que sobrevuela la atmósfera de León, Guanajuato; la azafata que está estacionaria con respecto al reloj y un guardia parado en tierra encuentran que las leyes que describen la marcha del reloj son las mismas, pero no ven y ni miden la marcha del reloj exactamente igual; para la azafata el tiempo medido es propio, lo mide con un reloj estacionario con respecto a ella, observa que el reloj marcha al máximo ritmo posible; para el guardia el tiempo medido es impropio, lo mide con un reloj en movimiento con respecto a él, observa que la marcha del reloj es menor que lo que declara la azafata y el tiempo lo mide como alargado o dilatado.

El primer principio también está sustentado en las evidencias experimentales y observacionales. Si la azafata mide la velocidad de la luz que despiende el faro de navegación del avión encuentra que mide 300 000 km/s; si el guardia mide la velocidad de la luz de la misma fuente, también encuentra que mide 300 000 km/s. Estas conclusiones son independientes de la velocidad del avión con respecto a la tierra. Podría el avión desplazarse a 150 000 km/s con respecto a la tierra, sin embargo, las velocidades que mediría el guardia desde la superficie de la tierra no es 450 000 km/s, sino 300 000 km/s. No son especulaciones, son axiomas, o principios, basados y conseguidos por medio de la evidencia experimental.

Actualmente un criterio de sencillez y profundidad más demandante se aplica a la ciencia y a su relación con todos los seres humanos. Se parafrasea de esta forma: “si usted entiende determinado concepto físico, o científico, entonces usted debe ser capaz de explicárselo a la abuela más lega en la materia para que ella lo entienda y pueda explicárselo a usted”.

Albert Einstein lo expresó en su libro *La física, aventura del pensamiento*: “muchas de las ideas fundamen-

tales de la ciencia son esencialmente simples y, podrían, como regla, ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos”.

Erwin Schrödinger lo escribió en su libro *Ciencia y humanismo* con las siguientes palabras: “si usted no puede —después de largos intentos— contarle a todos qué ha estado haciendo, tu quehacer ha sido infructuoso”.

Werner Heisenberg lo plasmó en su obra *Física y filosofía* con esta frase: “aun para un físico, la descripción, en un lenguaje llano, será un criterio del grado de entendimiento que ha sido alcanzado”.

Después de la electrodinámica de Maxwell los desarrollos siguientes fueron la descripción y el entendimiento del equilibrio termodinámico de la radiación electromagnética y la materia. Un sistema ideal para estudiar este equilibrio es el cuerpo negro. Una cavidad en un pedazo de metal abierta al exterior por un orificio es una buena aproximación a un cuerpo negro. Por eso a la radiación de cuerpo negro también se le llama radiación de cavidad. El sol es un buen ejemplo, el universo entero, otro.

La electrodinámica de Maxwell no da cuenta del espectro de radiación del cuerpo negro. Todos los intentos por hacer la descripción fallaron. El supuesto básico en la teoría electromagnética de que el intercambio de energía entre el campo de radiación y la materia es continuo no se cumple en la naturaleza. El intercambio es discreto, hay una cantidad mínima que depende de la frecuencia de la radiación, y los sistemas materiales también absorben y emiten radiación a determinadas frecuencias, no a cualquier frecuencia. Estos son hechos experimentales.

La propuesta desesperada de Max Planck fue que la radiación no se intercambia de forma continua entre la materia y el campo de radiación, o en cualquier cantidad, como lo habían supuesto los todos físicos hasta antes de él. La radiación se intercambia por unidades que dependen de la frecuencia de la radiación. Se dice que el

intercambio de energía es cuantizado. En esta propuesta introdujo una constante, ahora llamada la constante de Planck, que caracteriza a los sistemas cuánticos.

Max Planck logró un éxito rotundo en la descripción del equilibrio térmico entre el campo de radiación y la materia. También dio un paso gigantesco en el entendimiento de la naturaleza. La visión clásica del mundo empezaba a quedar detrás y una nueva empezaba a gestarse. La visión cuántica de la naturaleza y del universo completo.

La propuesta de Planck se conoce como teoría cuántica. Básicamente propuso que el intercambio de energía entre los sistemas físicos no es continuo sino parcelado; cada pedacito elemental se llama *quantum*. En general el *quantum* puede ser de energía, de carga eléctrica, de momento lineal, de momento angular y otras cantidades físicas.

La aplicación de la teoría cuántica para explicar otros fenómenos naturales que habían estado presentes en el quehacer de los físicos fueron los siguientes: la explicación del efecto fotoeléctrico, hecha por Einstein en 1905, mencionado anteriormente; la explicación de los espectros atómicos, en especial el del hidrógeno, hecha por Niels Bohr en 1914; y la explicación de los calores específicos, hecha por Einstein en 1907. Con estas aplicaciones, la física cuántica, y su teoría, quedó bien establecida. Además, siguieron una serie de evidencias experimentales, que transformaron rápidamente a la teoría cuántica en una mecánica del *quantum*:

El experimento de Davisson y Germer, el experimento de Compton, el experimento de Raman, el experimento de Franck y Hertz, el experimento de Stern y Gerlach, el experimento de Stark, el experimento de Zeeman y una serie de descubrimientos como la antimateria, las partículas elementales, los rayos cósmicos, la radiación de fondo, la expansión del universo y la polarización de la radiación de fondo.

En su artículo “El origen y el estado presente de desarrollo de la teoría del *quantum*”, Max Planck escribió:

Desde que el problema completo concierne a una ley universal de la naturaleza, desde aquel tiempo, como en el presente, sostuve la opinión indubitable que la presentación más simple de una ley particular de la naturaleza, la hace más general —al mismo tiempo, cuál fórmula tomar como la más simple, es un problema que siempre no puede resolverse definitivamente y confiadamente—.

En su obra *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, Niels Bohr escribió lo siguiente: “La gran extensión de nuestra experiencia en años recientes ha traído a la luz la insuficiencia de nuestras concepciones mecánicas y simples y, como una consecuencia, ha cimbrado los cimientos sobre los cuales la interpretación habitual de las observaciones se basaba”.

De igual forma, pero ahora en su obra *Física atómica y conocimiento humano*, escribió estas letras: “en la mecánica cuántica, no estamos tratando con una arbitraria renunciación de un análisis más detallado del fenómeno atómico, sino con un reconocimiento de que un análisis es en principio excluido”. En esta misma obra también escribió sobre la teoría cuántica:

El origen primordial de la dificultad [de explicar la teoría cuántica] descansa en el hecho (o principio filosófico) que estamos arrastrados a usar palabras del lenguaje común cuando queremos describir un fenómeno, no por análisis lógico o matemático, sino por una imagen que apela a la imaginación. El lenguaje común ha crecido por la experiencia de todos los días y nunca puede sobrepasar esos límites. La física clásica se ha restringido a sí misma al uso de tales conceptos; analizando movimientos visibles en la mecánica clásica se han desarrollado dos formas para representarlos por procesos elementales: partículas en movimiento y ondas. No existe otra forma de proporcionar una descripción

pictórica de los movimientos, tenemos que aplicarlo aún en las regiones de procesos atómicos, donde la física clásica deja de ser válida.

El método para construir los conceptos físicos, las teorías y los modelos para describir el mundo físico tiene como fundamento lo concreto de las medidas y lo que representan en el propio mundo físico. Los esquemas físicos pueden cambiar, pero los resultados de las mediciones no cambian a lo largo de la historia y la evolución de la ciencia.

Las mediciones tomadas por Tycho Brahe serán por siempre válidas, quizá refinadas, pero válidas. El mejor destino que tienen las mediciones físicas es ser parte de una teoría, una propuesta de explicación más general. Las medidas realizadas por Brahe tienen cabida en la teoría de Kepler, en la teoría de la gravitación universal de Newton y también en teorías más generales, como la teoría general de la relatividad de Einstein. Seguramente serán parte de teorías todavía más generales que tomen en cuenta los aspectos cuánticos del universo completo, es decir, parte de una teoría general de la gravitación cuántica.

Aún las ideas y los modelos de cómo construir teorías, de cómo describir el mundo, cambian a lo largo de la historia, dependen de las épocas y de las personas y sus preferencias. Sin embargo, ante todo, la relación entre los fenómenos permanece, y lo hace aun cuando el estado relativo de movimiento entre el observador y el fenómeno observado cambie. Las mediciones de Brahe son válidas desde la Tierra, así las realizó porque no tenía otra opción, y son válidas también para un observador parado en el sol, en Júpiter, o en otro punto del universo, en movimiento o en reposo con respecto a la Tierra. Esto es algo profundamente simple en la constitución del universo y su devenir en el tiempo.

Las mejores y más acertadas descripciones del proceso de creación de esquemas para representar el mundo físico son las realizadas por los científicos mismos. J. J.

Thomson desde la seriedad, la laconia y el escaño de la realeza británica; R. P. Feynman, desde la irreverencia del sin pose, del ignorante iluminado, con garbo, punzante y siempre genial. Aquí están sus versiones:

J. J. Thomson recibió el Premio Nobel en física de 1906 con esta motivación: “en reconocimiento de los grandes méritos de sus investigaciones teóricas y experimentales en la conducción de electricidad en gases”. Midió también la relación carga/masa del electrón, y puso las bases para los desarrollos posteriores en física del estado sólido y la electrónica a base de válvulas termoiónicas, y luego a base de dispositivos de estado sólido. Inventó también los primeros prototipos que evolucionarían al cinescopio de televisión, y pantallas de osciloscopios, de circuitos de vigilancia, y pantallas de computadoras, de videojuegos y muchas otras aplicaciones. Todas estas ya no se usan más, han sido sustituidas por pantallas de plasma y de cristal líquido.

J.J. Thomson escribió en su libro *Notas sobre investigaciones recientes en electricidad y magnetismo* acerca del método científico lo siguiente:

El método de la física tiene todas las ventajas de la intensidad y claridad heredadas del uso de cantidades concretas en vez de símbolos abstractos [...] deberíamos actuar en concordancia con el dictum de Francis Bacon de que los mejores resultados son obtenidos cuando la investigación empieza en la física y termina en las matemáticas [...] El uso de una teoría física ayudará a corregir la tendencia —que yo pienso todos admitirán es no común por todos los medios— de observar los procesos analíticos como la moderna equivalencia de la máquina de los filósofos en la gran academia de Lagado, y considerar como el proceso normal de investigación en esta materia la manipulación de un gran número de símbolos con la esperanza de que en todo momento aquí y ahora algún resultado valioso pueda surgir de repente.

R. P. Feynman en su disertación Nobel escribió:

Muchas ideas físicas diferentes pueden describir la misma realidad física. Entonces, la electrodinámica clásica puede ser descrita desde el punto de vista del concepto de campo, o desde el punto de vista de acción a distancia, etc. Originalmente Maxwell llenó el espacio con ociosas ruedas y Faraday con líneas de campo, pero de cualquier forma las ecuaciones de Maxwell son prístinas e independientes de la elaboración de palabras que intentan una descripción física. La única y verdadera descripción física es aquella que describe el significado experimental de las cantidades en la ecuación o mejor, la forma en que las ecuaciones deben ser usadas en la descripción de las observaciones experimentales. Pero quizá la mejor forma para proceder es intentar adivinar las ecuaciones, y descartar modelos físicos o descripciones. Por ejemplo, McCullough adivinó las ecuaciones correctas para la propagación de la luz en un cristal mucho antes que sus colegas usando modelos elásticos pudieran encontrar las patas y la cola del fenómeno, o de nuevo, Dirac obtuvo casi puramente su ecuación para la descripción del electrón por proposiciones matemáticas. Una perspectiva física simple por medio de la cual todos los contenidos de esta ecuación puedan ser vistos está en espera.

En estos días tenemos propuestas clásicas de la naturaleza como la electrodinámica clásica de Maxwell y la mecánica de Newton enmendada por la teoría especial de la relatividad de Einstein. Siguen determinados preceptos en sus supuestos más inherentes.

Es posible preguntarse sobre el mundo externo, su existencia y su devenir de acuerdo a reglas que los físicos han estado descubriendo a lo largo de los siglos de historia de la ciencia. En opinión de muy notables pensadores debe de haber un mundo externo, ajeno a toda intervención humana. En la actividad de los físicos está explícita la aceptación de un mundo externo poblado de objetos.

Platón admitía la existencia de un mundo externo, y de su observación posiblemente llegó a la conclusión de que el mundo externo es caprichoso, impredecible, siempre cambiante, no confiable, compuesto de miles de cosas diferentes y variadas. Le confundió la aparente complejidad del mundo externo en su devenir frenético. Siguió caminos que ahora sabemos llevan a una encrucijada sin salida.

Pero es sólo apariencia, decían, o proponían otros filósofos. Detrás del caos deben de existir reglas bien establecidas, o patrones, que la naturaleza sigue y se ajusta en su devenir en el tiempo. Por ejemplo, hay algunas regularidades muy marcadas y nada ocultas a la inteligencia del ser humano, como las siguientes: nacimiento, crecimiento, y muerte de las personas y de las plantas; la puesta y salida del sol por el horizonte; la aparición periódica de nuevas plantas y animales sobre la superficie de la tierra; la aparición periódica de las fases de la luna; y otras muchas. Las teorías o propuestas para describir e interpretar el mundo externo son reflejo de cómo el ser humano percibe ese mundo externo. Las teorías clásicas, a la Newton o a la Maxwell, cumplen con los siguientes principios semánticos.

Objetividad

Por principio, en todas las teorías físicas se asume que existe un mundo externo, poblado de objetos, cuyo devenir es independiente de si son observados o no, o de si existe o no un observador externo que realiza las percepciones. Esta propuesta es conocida como principio de objetividad. Diferentes pensadores y escuelas a lo largo de la historia de la ciencia han tomado diferentes aserciones como puntos de partida. Asimismo, es posible elaborar algunas propuestas alejadas de toda verificación experimental lo cual es improcedente en toda ciencia, por ejemplo, que lo

que percibimos los humanos como mundo externo no es más que una sombra o proyección en el espacio tiempo de todos los días, y que por lo tanto no podemos aspirar a conocerlo tal como es.

Todos los humanos acordamos que hay un sol, una luna, un aire que no vemos, las montañas, etc., y aún percibimos las mismas regularidades como el paso de las nubes, el vuelo de los pájaros o el movimiento de la luna. Llegamos a este conceso de opinión impuesto por los años de experiencia y por la persistencia de las percepciones. Podemos intercambiar información con otros humanos y verificar que perciben lo mismo. Esto refuerza más nuestra convicción de la existencia de un mundo externo. Hay fenómenos físicos que los humanos no percibimos directamente y que existen, es decir, podemos percibir sus efectos, como la gravedad, o la fuerza de la gravedad: observamos que los objetos son atraídos por la Tierra, pero no observamos lo que compone a la gravedad.

La propuesta de la ciencia es que, si algo existe, debe de haber una forma de detectar ese algo, aunque no podamos percibirlo directamente los humanos sin ayuda de instrumentos de detección. Si la partícula que media la fuerza de la gravedad entre objetos con masa —el gravitón— existe, por ejemplo, debe de ser posible, usando los instrumentos apropiados, medir su posición, su masa y otras propiedades físicas y validar su existencia. Si no existe, entonces todo intento de validar su existencia será un fracaso. No fue posible validar la existencia del éter o del calórico, por consiguiente, no existen esos objetos ahí afuera con esas propiedades.

En la ciencia actual, desde el punto de vista clásico, se postula que el mundo externo está poblado de objetos cuya existencia es independiente de si son

observados o no. De ahí parte toda la ciencia clásica, porque no tendría sentido estudiar e investigar algo que no admitimos que existe. El esquema de explicación de su funcionamiento los físicos lo construyen día a día.

Causalidad

El mundo deviene, hay cambios por todos lados entre los objetos que pueblan el mundo externo y también hay cambios en los estados físicos de los sistemas físicos. Esta proposición es respaldada directamente por las evidencias experimentales y observacionales más directas. Los cambios en apariencia son caóticos. Pero sólo en apariencia. Detrás deben de existir regularidades muy delicadas y precisas que moldean y constriñen la evolución de los sistemas físicos. Esas reglas o leyes deben de conectar el efecto que los humanos observamos con las causas que operan esos efectos y que también observamos. Las interacciones entre objetos y sistemas, que son las causas, provocan cambios en los sistemas físicos, que son los efectos. El resultado es el devenir perpetuo del mundo físico.

Ejemplos inmediatos hay muchos en la vida diaria. A veces llueve. La causa que lo provoca es el logro del punto exacto de presión y temperatura que deben tener las nubes para que el vapor de agua se condense y se precipite por gravedad al suelo. Ese punto exacto de presión y temperatura en las nubes es ocasionado por otras nubes que embisten, por flujos de aire, derivados de gradientes de temperatura, que chocan con las propias nubes. Así se dan las condiciones para que llueva. Hay una causa: colisión y reacomodo de masas de aire y vapor de agua. Hay un efecto: cambio de la temperatura y presión en la región de acomodo. Este efecto a su vez es la causa

para que las moléculas de agua en la región considerada cambien de vapor a líquido y se precipiten a tierra, es decir, que llueva, este es el efecto último. Llueve sobre la tierra.

El acondicionamiento de las experiencias dadas en todos los días hace que lleguemos a la siguiente proposición: el mundo externo es causal, las teorías para describirlo son causales. En el principio de causalidad en la física clásica se establece que todo efecto es precedido por una causa, o nunca hay un efecto sin una causa que lo genere. No hay efecto sin causa. Cada evento o consecuencia o efecto en este universo tiene una causa antecedente, al menos a nivel microscópico y la causa siempre antecede al efecto. Esto crea otra peculiaridad del devenir de la naturaleza, los eventos parecen avanzar en el tiempo hacia el encuentro del futuro y alejándose del presente que siempre se está convirtiendo en pasado de forma continua.

Completez

Las teorías que explican el devenir del mundo externo desde la perspectiva clásica, como la mecánica clásica de Newton y la electrodinámica clásica de Maxwell, tienen esta particularidad en común: engloban conceptos que tienen sin ambigüedad su contraparte en el mundo externo. Son concepto con los que describimos lo que observamos del mundo externo.

En la mecánica clásica están los conceptos de masa, de volumen, de velocidad, de aceleración de tiempo, entre muchos otros, asociados siempre a objetos y a sistemas físicos en el mundo externo. La masa que es la cantidad de materia que contiene un objeto o un sistema físico se cuantifica, hay algo físico asociado a este concepto. La misma situación se tiene para los otros conceptos mecánicos.

En la electrodinámica clásica de Maxwell aparecen conceptos como carga eléctrica, resistividad, capacitancia, fuerza eléctrica, potencial eléctrico, entre muchos otros. En el mundo externo están las contrapartes físicas, en relación uno a uno y sobre, de estos conceptos. En el laboratorio se mide la carga eléctrica, se almacena, se cuantifica, se distribuye, etc. Esto significa que la carga eléctrica es algo físico, tangible y operable. La misma situación ocurre con los demás conceptos físicos involucrados en la teoría.

En las descripciones clásicas del mundo externo, como las dos construcciones anteriores, se acepta como principio la completez de estas propuestas. Esto significa que cada concepto físico involucrado en la teoría tiene una contraparte física, donde la relación entre concepto físico y objeto físico es uno a uno. A cada objeto físico del que trata la teoría, se le asocia un concepto físico definido sin ambigüedad y que encierra en esta definición la forma de medir o cuantificar ese concepto.

Una forma de probar las teorías físicas, es con sus predicciones que necesariamente deben cumplirse, si son correctas. Una predicción que terminó de convencer a los físicos del siglo XVIII de la validez y acertado de la mecánica clásica de Newton, aplicada en la mecánica de los cuerpos celestes, fue la predicción, a partir de las irregularidades en las órbitas de los cuerpos vecinos, como el planeta Urano, del planeta Neptuno. Neptuno fue predicho, y encontrado por el astrónomo justo donde se había predicho que debería de estar.

Se dice que las teorías clásicas de la descripción del mundo son completas porque deben cumplir con este requisito. La teoría especial de la relatividad es una teoría que cumple con el principio de completez.

Determinismo

La experiencia muestra que hay regularidades en la naturaleza que podemos llamar leyes en el sentido de que, si se cumplen las condiciones, se cumplen estas regularidades. Por ejemplo, la ley de la caída libre de los objetos. Estas leyes dan el curso del devenir de los objetos, o sistemas físicos en la naturaleza con una aceleración constante debido a la gravedad terrestre.

La situación es análoga, aunque el símil no hace justicia completamente, a las leyes sociales que dictan cómo deben llevarse a cabo determinadas acciones. Por ejemplo, los automovilistas deben manejar sus automóviles por la derecha del conductor, es una ley de tránsito, es completamente arbitraria y convencional. En Inglaterra e India los operadores manejan los autos por la izquierda del conductor y los tráficos de los automóviles funcionan tan bien como los de la derecha. No hay nada fundamental en el devenir de la naturaleza para elegir una forma de conducir u otra. Convencionalmente ambas son equivalentes. Esta ley humana y social no predice algo en el estado futuro de los autos ni de los conductores. La propuesta de “si un automovilista conduce por la derecha seguirá conduciendo por la derecha” no tiene verdad o falsedad en su contenido presente o futuro porque el automovilista podría estar a la izquierda o a la derecha dependiendo de la volición del conductor, tampoco dice dónde estará el conductor después de un tiempo determinado, o dónde estuvo hace algún tiempo.

En cambio, la ley física, que se deriva de los principios de Newton, que describe la posición de un cuerpo, partícula o sistema físico, con aceleración constante y como función del tiempo, predice que, conociendo la posición y la velocidad a un determi-

nado tiempo, la posición del cuerpo como función del tiempo queda completamente determinada para los tiempos futuros, y los que estuvo para los pasados. Las leyes naturales tienen el carácter determinativo, o son deterministas y, por extensión, las teorías acerca de la naturaleza son deterministas.

En ausencia de cualquier rozamiento, como el que podría causar el aire de la atmósfera, un cuerpo que parte del reposo en caída libre tendrá posiciones, hacia el centro de la Tierra, proporcionales al cuadrado del tiempo transcurrido. La constante de proporcionalidad es igual a la aceleración de la gravedad terrestre dividida por dos. La velocidad inicial es cero, parte del reposo. La posición inicial es la posición desde donde lo dejamos caer, que podemos decir que es cero por convención.

La expresión matemática es la predicción. Las medidas se hacen en las condiciones de ausencia de rozamiento entre el cuerpo en caída con otros y el cuerpo partiendo del reposo. El resultado es que las medidas se distribuyen exactamente como se establece en esta ley.

Debido a estas observaciones y muchas otras, los físicos propusieron que la naturaleza es determinista. Este es el principio de determinación en la física: todo sistema físico está determinado en sus estados futuros y lo estuvo en sus estados pasados. La predicción de estos se da conociendo las leyes del devenir de los sistemas físicos y la posición y la velocidad a un determinado tiempo de los mismos, lo dicho involucra a la naturaleza completa.

Local

Los sistemas físicos interrelacionan unos con otros, siguiendo determinadas leyes, y evolucionando o deviniendo en el tiempo. Esa influencia se efectúa de

forma local al producirse la causa se genera el efecto en el mismo lugar. Este es el principio de localidad. El efecto se genera en el mismo instante en que se produce la causa. La causa y el efecto no están diferidos en el tiempo ni separados en el espacio, en ese sentido, es una localidad en continuo espacio tiempo. La patada propinada por un jugador a un balón no tiene efecto más allá del balón y no tiene otro efecto directamente más que sobre el balón. No hay otro efecto directamente fuera del balón. Un experimento realizado en la azotea de un hotel no afecta directamente algún sistema físico de los alrededores, a menos que esté en contacto directo con el sistema experimental. Una nubosidad en México no producirá efectos en Inglaterra, porque ambos países están separados en el espacio por varios miles de kilómetros y por las causas que generan los fenómenos. Las causas son locales y los efectos son en el mismo espacio y tiempo que las causas.

Esto es muy profundo, y se refleja en la forma en que los físicos describen la naturaleza en términos de ecuaciones diferenciales, normalmente hasta de segundo orden, porque las causas y los efectos son locales y puntuales. Los físicos pueden imaginar alguna influencia etérea entre los objetos clásicos que transmitan muy lejos, muy retirado del punto de la causa, el efecto. Sin embargo, tales influencias no son observables, ni medibles. Por lo tanto, desde el punto de vista físico no existen.

Algún universo donde la localidad no se cumpliera sería ciertamente muy extraño para todos los observadores acostumbrados a la localidad de este universo. Producir una lluvia pateando un balón de fútbol, hacer volar un avión rozando con la mano una escultura de cantera, y otros ejemplos estrafalarios más serían fenómenos muy extraordinarios

y completamente fuera del universo de todos los días. No los observamos. La naturaleza no deviene de esa forma.

Los físicos aceptan, al investigar la naturaleza, tácitamente los preceptos anteriormente descritos y los siguen, aunque no siempre de forma consciente. Todas las descripciones clásicas que los físicos hacen de la naturaleza son locales, deterministas, completas, objetivas y causales. La mecánica clásica de Newton, la electrodinámica de Maxwell y la termodinámica clásica son teorías locales, deterministas, completas, objetivas, y causales.

Las teorías cuánticas de la naturaleza no se ajustan a los preceptos anteriores. Todos los intentos hechos por los físicos, hasta la actualidad, por establecerlos en las descripciones cuánticas no han tenido éxito. Las descripciones clásicas y las cuánticas son completamente antípodas e irreconciliables porque ofrecen preceptos completamente opuestos. Conforme la mecánica cuántica fue estableciéndose se vio claramente que las descripciones que se construían de la naturaleza no seguían los mismos preceptos, sino los preceptos opuestos. La mecánica cuántica es no objetiva, no causal, no completa, no determinista, no local.

No objetividad

En las descripciones mecánico cuánticas de la naturaleza se habla de objetos que no tienen existencia independiente del observador que los percibe. Un electrón, u otra partícula semejante, no es posible, por principio, establecer simultáneamente su posición y momento. Si el momento de una partícula con características cuánticas es conocido con toda exactitud, entonces la posición es completamente desconocida y viceversa. Esto no ocurre con un objeto

clásico, donde la posición y el momento se conocen con toda precisión simultáneamente.

Por la razón anterior no es posible hablar de trayectorias, localizaciones completas, de los objetos cuánticos. Por lo tanto, si los electrones y en general los objetos cuánticos existen, su existencia no es como la de las piedras, las canicas o los mesabancos del mundo de todos los días. Esta indeterminación por principio, no es debida a la incertidumbre de los instrumentos de medición. Es inherente a la teoría usada para describir el mundo macroscópico. Además, es intrínseco a lo que podemos aspirar a conocer del mundo externo, y la construcción del esquema completo de la naturaleza sigue en curso.

CAPÍTULO III

SEGUNDO MOVIMIENTO

Los Premios Nobel

Los Premios Nobel son los más prestigiosos galardones en el mundo de la literatura, de la física, de la química, de la paz, de la medicina, y de la economía. Se otorgan cada año por voluntad testamentaria de Alfred Nobel, fundador de estos premios anuales. Nobel dejó cerca de 250 millones de dólares, a valores actuales, para instituir los Premios, que son cubiertos con los intereses devengados por este capital invertido en fondos sin riesgos durante el año anterior. El monto de cada uno de los Premios Nobel asciende a cerca de un millón de dólares. Cantidad difícilmente soslayable por un científico que siempre está escaso de fondos para hacer su investigación, aparte del enorme prestigio que conllevan.

La historia de la creación de los Premios está enraizada en la historia de la familia Nobel, especialmente con uno de sus miembros más prominentes, Alfred Nobel. Su vida la cuenta él mismo, en primera persona, como una entrevista hecha por alguien ausente. Como una plática al infinito vacío:

Las tierras del Norte de Europa, en Suecia, no son muy amigables con los humanos, ni muy buenas para echar raíces. Son muy agresivas e inhóspitas con los seres humanos, aunque nos hemos adaptado bien a lo largo de los siglos, por eso, tenemos que luchar cada segundo de la existencia por sobrevivir. Son tierras frías, con poca luz

solar, escasas de vegetación comestible para el humano, pero ricas en recursos silvícolas y pobres en sus aguas marinas. Son tierras aptas para la ganadería y el cultivo de plantas para el criadero de especies menores. Son tierras ricas en recursos minerales como muchas tierras del mundo. Nuestra riqueza la centramos en la preparación y educación de nuestra gente. La preparación científica y técnica del pueblo sueco ha hecho las grandes diferencias a lo largo de los siglos de civilización.

Con la ciencia, la física, la química, la ingeniería, y la tecnología, hemos conseguido grandes progresos. Estas ciencias tienen una gran tradición en nuestras tierras, pues ciencias han tenido gran impacto en la minería y la industria metal y mecánica, que son la base de la economía sueca. En México no aprecian lo benigno que es su clima con los seres humanos. Tienen los recursos naturales para convertirse en una potencia tecnológica y económica. Falta la preparación técnica y científica de las personas, y el avance científico. Falta que se definan educativamente. Falta que eduquen a toda su gente para desarrollar al país, con base en la ciencia y la tecnología.

Alfred Nobel

Algunos datos sobre mí y mi familia son los siguientes, los relataré sin un orden histórico, como si fuera una plática entre amigos. No sé por qué, pero mis padres me llamaron Alfred. Mi tierra natal es la ciudad de Estocolmo, Suecia. Llegué a este mundo en un otoño de 1833, el 21 de octubre, en la familia Nobel instituida por mi padre, Immanuel Nobel y mi madre, Andriette Ahlsell Nobel. Nada relevante sucedía en esa época. En la historia se recordará mi nacimiento como un suceso importante de la década. México transitaba su joven independencia, con 12 años. El ferrocarril era introducido en Estados Unidos. Charles Darwin estaba de visita por las islas Galápagos. El imperio

español llegaba a su fin, con la pérdida de la mayoría de sus colonias en América.

Nací de sangre industrial y milenaria, en mis células hubo genes que vienen del mismísimo y legendario Olof Rudbeck, en descendencia directa. Él era un técnico industrial, todo un genio tecnológico sueco del siglo diecisiete. Precursor de la industrialización en Suecia y hacedor de la potencia industrial sueca en el Norte de Europa.

La familia Nobel se completó con mis dos hermanos, quienes nacieron antes que yo: Robert, nacido en 1829, y Ludving, nacido en 1831, y un hermano quien nació después que yo, Emil, nacido en 1843. Mis padres procrearon ocho hijos. De los ocho hermanos, sólo nosotros cuatro llegamos a edad adulta. Así se formó la familia Nobel. Una familia típica en la Suecia de la época y en el mundo. Mi familia era educada y de medios económicos moderados, muy trabajadora e industrial, y de tradición científica y técnica.

De los legendarios Rudbeck descendía mi padre, ingeniero e industrial, autor de algunos inventos, director de la construcción de edificaciones, de puentes, de maquinarias y de equipos. Creador de técnicas para abrir la roca y construir caminos y pasos en la roca, entre otras. Consolidó negocios de sin igual empeño y visión futurista. Por el año en que yo nací, el negocio de mi padre llegó a la bancarrota. Mi padre movió el negocio a Rusia, y antes a Finlandia, donde trabajó con igual ahínco para probar suerte. Yo tenía como 4 años. Mis hermanos mayores, mi madre y yo quedamos en Estocolmo a la espera de buenas nuevas de mi padre. Mis abuelos maternos, mi madre y los hijos nos hicimos cargo de la situación económica liderados por mi madre. La situación económica era precaria, pero podíamos sobrevivir. Ella comerciaba con abarrotes, leche y verduras en una pequeña tienda, para solventar los gastos de la familia. Mi madre tenía también talento para los negocios. Los genes de negociante

e industrial me llegaron por las dos ramas de la familia, mi padre y mi madre.

Mi padre se estableció en Rusia, San Petersburgo, con enorme éxito y entusiasmo. Su negocio de máquinas y herramientas prosperó pronto. Le proveía servicios de logística al zar, y al ejército ruso, equipo, armamento, y explosivos. Él inventaba y manufacturaba los explosivos y el equipo, además de negociarlos. Creó tecnología de explosivos marinos, como la minas marinas. Con esta tecnología mantuvo alejados de la ciudad de San Petersburgo a los barcos cañoneros enemigos ingleses, que llegaron al puerto en apoyo de Turquía. Los ataques balísticos resultaban inocuos. En San Petersburgo, mi padre fue el Arquímedes de Siracusa. Así, la Real Armada fue contenida y alejada del puerto durante los años 1853-1856. Era la guerra de Crimea, territorio controlado por Turquía, y que Rusia quería arrebatarle. Rusia quedó debilitada; al final capituló ante el empuje de Turquía y sus aliados Britania, Francia y Sardinia. De esta forma los planes expansionistas rusos quedaron truncos y varados. La superioridad numérica de los enemigos se impuso, como ocurrió con la ocupación romana de Siracusa. Arquímedes se retiró, pero no sobrevivió a la ocupación romana. Mi padre sí sobrevivió porque no hubo ocupación enemiga del suelo ruso. Antes de este episodio, la familia Nobel nos reunimos en San Petersburgo, allá por el año 1842, a petición de mi padre. Mi padre tenía éxito con los negocios. Al año siguiente nació mi hermano menor, Emil.

Los cuatro hermanos recibimos una educación muy dedicada y esmerada, de primera clase, impartida con ayuda de tutores particulares. Las tutorías comprendían ciencias naturales, lenguas extranjeras y literatura. Yo, a los 17 años, podía hablar y escribir de forma fluida el alemán, el inglés, el francés, el sueco y el ruso. Mi padre reprobó mi elección de la literatura como profesión, por ser una persona de negocios. Él quería que sus vástagos

siguieran sus pasos en los negocios basados en la ciencia y la tecnología.

Me interesé también en la química, en la física y las ciencias naturales. Me embarqué a Francia, por empujones de mi padre, para estudiar ingeniería química. La visión de mi padre era única y visionaria, futurista. Iniciaba lo que ocurre actualmente en el mundo de los negocios del mundo, desarrollo de empresas de negocios basadas en el conocimiento científico, la ciencia y la tecnología. La física, las matemáticas y la computación son los pilares de estas empresas. Se derivan las telecomunicaciones, la electrónica, los materiales, y otras áreas.

En Francia trabajé con el profesor de química Théophile-Jules Pelouze en su laboratorio privado. También ahí trabajaba el joven italiano, químico, Ascanio Sobrero, inventor hacía años de la nitroglicerina. Esta última presentaba algunos serios problemas prácticos, no era muy manejable, lo que la convertía en muy peligrosa. Es líquida, es inestable y muy explosiva, de difícil transportación y almacenamiento. La solución a este problema tecnológico dio origen a la dinamita. Proceso y producto que patenté, con ello inicié mi carrera industrial.

Como consecuencia de mi formación y disfrute en lenguas, me tracé breves caminos en la literatura. Escribí algunos dramas, algunas poesías y algunos bocetos de novelas. En la ciencia y la tecnología realicé varios inventos y los patenté. Inicié varias empresas y negocios multinacionales. Yo trabajaba en todo el mundo y siempre desde casa. El mundo fue mi casa.

La sociedad mundial contemporánea siempre llamó mi interés como un activista social, como alguien que busca mejorar las condiciones de vida de las personas, como un pacifista, como buscador del bienestar colectivo, sin limitarse por fronteras políticas y geográficas. Mi interés no era como sociólogo ni como revolucionario. Propuse y sostuve puntos de vista sociales considerados

muy radicales para mis tiempos, como los siguientes: derechos de hombres y mujeres iguales, ganancias basadas en méritos propios.

Estas preocupaciones de mi mente, y mi incidencia en la sociedad, terminaron en mi testamento donde establezco los premios, que después se llamarían Premios Nobel. Ahí escribo que deben ser concedidos sin importar el credo profesado, la raza, el género, la ideología política, la nacionalidad, etc., y pensados para los mejores científicos en cada rama del saber: física, química, medicina o fisiología, al promotor más destacado de la paz mundial y al escritor más prolífico y universal.

Los han bautizado en mi nombre, en el fondo es en nombre de mi familia Nobel. Mi padre señaló el camino, mi madre, mis hermanos y yo lo seguimos. Todos contribuimos. Yo coloqué y puse la piedra angular más grande, pero me apoyé en el resto de la familia: mi padre y mi madre, la quintaesencia y el alma del clan Nobel.

Me encontraba en mi casa de Sanremo, en Italia, cuando mi corazón se detuvo. Morí. Era el año de 1896. Poco después de ser expulsado de Francia por razones de negocios. México ya vivía una madurez y un desarrollo social desigual, con cierto progreso tecnológico, no propio sino importado, donde se tendría la primera revolución social del siglo XX.

Yo, Alfred Nobel, rubiqué mi tercero y último testamento, el 27 de noviembre del año 1895, ante el Club Sueco-Noruego de París. Cuando fue abierto y leído después de mi muerte causó enorme controversia en Suecia y en otros países porque dediqué buena parte de mi fortuna para el establecimiento de un premio. Mi familia se opuso a la creación del Premio Nobel, y los albaceas que yo nombré declinaron hacer lo que yo estipulé en mi testamento. Llegar a un acuerdo satisfactorio para todas las partes. Hacerlos funcionar tardó cinco años. Los primeros Premios Nobel se otorgaron en 1901.

En una parte de mi testamento se lee textualmente que la porción restante de mi fortuna debe ser usada para:

premiar aquellas personas que, durante el año precedente, hayan conferido a la humanidad los más grandes beneficios [...] La totalidad de la porción remanente de mi fortuna será tratada de la siguiente forma: el capital invertido en valores seguros por mis ejecutantes constituirá un fondo, los intereses de este serán distribuidos anualmente en la forma de premios entre aquellas personas que durante el año precedente hayan conferido los más grandes beneficios a la humanidad. El citado interés deberá dividirse en cinco partes iguales que serán repartidas como sigue: una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento más importante o invención en el campo de la física; una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento o el mejoramiento más importante en química; una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento más importante en el dominio de la fisiología o la medicina; una parte para la persona que haya producido en el campo de la literatura el trabajo más relevante en el sentido ideal; y una parte a la persona que haya hecho el mejor o mayor trabajo en pro de la fraternidad entre las naciones, por la abolición o reducción del armamentismo, y por mantener y promover asambleas para la paz. Los premios en física y química deberán ser conferidos por la Academia Sueca de Ciencias; aquél en trabajos en fisiología o medicina, por el Instituto Karolinska en Estocolmo; aquél por literatura, por la Academia en Estocolmo; y aquél para los campeones de la paz por un comité de cinco personas electas por el Parlamento noruego. Es mi deseo explícito que al conferir los premios no se hagan consideraciones sobre la nacionalidad de los candidatos, sean escandinavos o no, sino que los más excelsos reciban el premio.

El escenario de la coronación de todos los logros científicos es la ciudad de Estocolmo, es la capital de Suecia y es su ciudad más grande. Está situada en estas coordenadas globales: 59° 20' 00'' N; 18° 04' 00'' E. Tiene alrededor de 1 300 000 habitantes, en una superficie de 188 km cuadra-

dos; es muy similar en extensión y número de habitantes a la ciudad de León, Guanajuato, México.

Estocolmo

La ciudad de Estocolmo fue fundada en el año 1252. Su fundación la hace contemporánea de ciudades como Chichén Itzá y México-Tenochtitlán asentadas en lo que ahora es México, pero es mucho más reciente que ciudades como Teotihuacán en el Estado de México o Cholula en Puebla, que iniciaron cerca del año 400 antes de la era común. Cholula todavía existe como ciudad habitada y adaptada a la modernidad, pujante, con un cargamento de más 30 siglos de historia.

Estocolmo literalmente significa empalizada. El origen del término son las empalizadas que los antiguos hombres y mujeres del mar colocaban entre los islotes del archipiélago de Estocolmo para desfavorecer el acceso de barcos enemigos a los pueblos y ciudades construidos en las islas. Por ello la distribución de la ciudad en varios islotes.

La ciudad de Estocolmo está asentada e integrada por una red de 57 puentes en 14 islas en un archipiélago de más de treinta mil, el archipiélago de Estocolmo. Su Centro Histórico, Gamla Stan, que data del Medievo, es uno de más esplendorosos y mejor preservados entre todos los centros históricos de todas las capitales europeas. Por Estocolmo y sus alrededores el ambiente es de una ciudad portuaria, se ve gran animación en sus cafés y lugares de reunión durante el día y entrada la noche. Hay pocos árboles por la ciudad, para subsanar esta deficiencia, posee un pulmón verde, el Parque Real que rodea a la ciudad y la serpentea por más de seis kilómetros. El Palacio Real, el Hall de la ciudad, y el Museo Vasa son algunos de los edificios sobresalientes. Hay muchos otros como iglesias, museos, palacios, puentes y viejas casonas, igualmente encantadores por sí mismos.

La ciudad está llena de tradición científica milenaria, de esfuerzos humanos por erigirse sobre la naturaleza, por entenderla y aprovecharla. La minería, la física, la química, la navegación marítima y la tecnología siempre han estado unas al servicio de las otras, en apoyo mutuo. Cuatro regiones del archipiélago de Escandinavia han dado sus nombres a cuatro elementos químicos: Escandio, Estroncio, Itrio y Terbio; en total, doce nombres de elementos químicos, de los 118 con que contamos actualmente, están asociados a las regiones, a personajes o a la mitología de Escandinavia. Esta es la lista:

Escandio (Sc): *Scandia* —de Escandinavia—. Lars Fredrick Nilson lo descubrió en 1879, año del nacimiento de Albert Einstein. Símbolo, Sc; número atómico, 21. Es un metal. Dmitri Mendeléyev lo predijo, en 1869, con base en las leyes periódicas que presentan los elementos, claramente vistas cuando se ordenan en la forma de la tabla periódica de los elementos. Dedujo que debía de tener propiedades análogas a las del boro; le llamó ekaboro. Combinado con aluminio es usado en la industria aeroespacial y en la industria de la iluminación artificial.

Estroncio (Sr): Strontian —ciudad de Escocia—. Adair Crawford lo descubrió en 1790; símbolo, Sr; número atómico, 38; es un metal blando, plateado brillante. Se usa en medicina con varias aplicaciones.

Itrio (Y): de Ytterby —pueblo de Suecia—. Johan Gadolin, científico finlandés, lo descubrió en 1794; símbolo, Y; número atómico, 39. Es un metal parecido a la plata, es dúctil, es maleable. Tiene enormes aplicaciones en joyería, la industria electrónica, en la industria metal-mecánica, etc.

Terbio (Tb): de Ytterby —pueblo de Suecia—. Carl Gustaf Mosander, químico sueco, lo descubrió en 1843. Símbolo, Tb; número atómico, 65. Es un metal sólido, blanco, plateado brillante. Se aplica en la electrónica, en la industria de combustibles y en la de la iluminación.

Holmio (Ho): del latín *Holmia* —Estocolmo—. Marc Delafontaine y Jacques-Louis Soret lo descubrieron en 1878. Símbolo, Ho; número atómico, 67. Es un metal blando, plateado brillante, maleable y resistente a la corrosión. Se usa en química industrial como catalizador, en electrónica y en óptica para fabricar láseres.

Tulio (Tm): de Thule —nombre antiguo de Escandinavia—. Per Teodor Cleve lo descubrió en Suecia en el año 1879. Símbolo, Tm; número atómico, 69. Es un metal blando, gris plateado, brillante. Se usa como fuente de radiación en los equipos de rayos X portátiles y en los láseres de estado sólido.

Hafnio (Hf): de Hafnia —nombre latino de Copenhague—. Dirk Coster y George Hevesy lo descubrieron en 1923. Símbolo, Hf; número atómico, 72; es un metal. Tiene variadas aplicaciones en la industria de los reactores nucleares, en la industria de la iluminación, en la industria química, en la industria de los metales, en la tecnología de los microprocesadores, en la industria fotónica como base para acopladores ópticos.

Volframio (W): del inglés *wolfram*, o tungsteno, de *tung sten* —del sueco, piedra pesada—. Axel Fredrik Cronstedt lo designó con nombre Tungsteno en 1758; varios personajes contribuyeron a esclarecer la identidad de este metal que es estratégico a nivel mundial

por las aplicaciones industriales y tecnológicas que tiene. Número atómico, 74; símbolo, W. Es de color gris acero; es quebradizo. Se usa en la industria de la iluminación, para construir filamentos de las lámparas incandescentes, para construir resistencias para hornos eléctricos, para fabricar cabezales de los misiles anti carros, en la industria nuclear, en la industria del corte, entre muchas otras.

Erythronium (E) / Vanadio (V): Vanadis —diosa escandinava de la belleza—. Andrés Manuel del Río lo descubrió en las minas de Pachuca del estado mexicano de Hidalgo en 1801, lo llamó erythronium. Nils Gabriel Sefström lo redescubrió en 1831, y lo llamó vanadio. Número atómico, 23; símbolo, V. Es un metal, dúctil y blando. Tiene varias aplicaciones especialmente en la industria metal mecánica para producir piezas que deben soportar grandes esfuerzos mecánicos, como los ejes de las ruedas de automotores y de máquinas de tracción humana como triciclos y bicicletas, y de piezas que se deben proteger de la oxidación.

Torio (Th): de Thor —dios escandinavo de la guerra—. Jöns Jacob Berzelius lo descubrió en 1828. Pierre Curie y Marie Curie determinaron que es un elemento radioactivo. Símbolo, Th; número atómico, 90. Es un metal plateado y blando. Su uso hasta la actualidad es en la industria nuclear; esta aplicación está en desarrollo y resta mucho por aprender.

Nobelio (No): Nobel —en honor de Alfred Nobel—. Es un elemento sintético, fabricado en los laboratorios Berkeley, EUA, en 1958 por A. Ghiorso, T. Sikkeland, J. R. Walton y G. T. Seaborg. No se ha producido en grandes cantidades, sólo en cantidades atómicas.

De forma natural no se ha encontrado hasta la fecha. Símbolo, No; número atómico 102. Las aplicaciones industriales están por descubrirse; las aplicaciones en la ciencia básica son los estudios de la estabilidad nuclear de este elemento.

Gadolinio (Gd): del mineral gadolinita —del químico finlandés Gadolin—. Jean Charles Galissard de Marignac, se dice, observó por primera vez las líneas espectroscópicas de este elemento. Símbolo, Gd; número atómico, 64. Es un metal blanco plata, maleable y dúctil. Se aplica en la industria de la refrigeración y en la medicina.

Los usos de todos estos elementos, solos o en composición con otros elementos, se dan en las principales industrias que mueven al mundo, con dividendos de muchos miles de millones de dólares anuales, como la metal-mecánica, la electrónica, la computación, la joyería, las telecomunicaciones, la militar, la aeroespacial, la aeronáutica, etc. Justifican no únicamente su estudio y extracción sino la expansión de los usos que podrían tener en nuevos campos de las tecnologías emergentes.

Los logros anteriores dicen mucho de los titánicos esfuerzos realizados por los oriundos de las regiones escandinavas y que generosamente comparten con el resto de la humanidad, siempre actualizados y aplicando técnicas de vanguardia para investigar la naturaleza. No es que sea una zona privilegiada de la tierra, rica y abundante en recursos naturales, es lo opuesto, son regiones muy difíciles para la vida humana. Las personas tienen que trabajar muy duro todos los días para sobrevivir y arrancar a la naturaleza sus secretos, que en manos de esos hombres y mujeres se convierten en secretos de vida. Una prueba de que en todas las regiones del planeta los elementos químicos están en mayor o menor concentración es el surgimiento

ocasional de disputas por la primicia del descubrimiento de tal o cual elemento químico.

Una disputa histórica ha permanecido en torno al descubrimiento del elemento ahora llamado vanadio. Vanadis, la diosa de la belleza y la juventud en la mitología escandinava, da el nombre al elemento vanadio. Este nombre fue elegido acorde a las características de este elemento. En composición con otros elementos, despiden tonalidades de todos los colores cuando es expuesto a la luz natural. Se encuentra de forma natural formando compuestos con otros elementos. Tiene el número atómico 23, encuadrado en el grupo V de la tabla periódica de los elementos. Es un metal de color gris plateado. Lo descubrió el mineralogista mexicano Andrés Manuel del Río, a la sazón profesor de mineralogía en la Real Escuela de Minería de México, en las minas de Pachuca, del estado mexicano de Hidalgo, en 1801, al estudiar los minerales de la vanadinita. Lo llamó erythronium, panchromium, o zimapanio.

Los análisis de identificación, hechos en Francia, fueron erróneos y Del Río fue convencido de que no era un elemento nuevo. Fue redescubierto por el químico sueco Nils Gabriel Sefström en 1831 en las minas del archipiélago de Estocolmo; lo llamó vanadio, por la policromía de su apariencia cuando forma compuestos. Este descubrimiento data de dos años antes de la fecha de nacimiento de Alfred Nobel.

En una carta publicada en agosto del año 1947 en la revista *Nature*⁷, los profesores mexicanos Manuel Sandoval Vallarta y Arturo Arnaiz y Freg defienden enconadamente el descubrimiento del mexicano Andrés Manuel del Río con estas líneas:

Los hechos relacionados con el descubrimiento del vanadio por Sefström en 1830 y con los trabajos de Wöhler, que establecieron la identidad del eritronio y del vanadio, son

7 Manuel Sandoval Vallarta y Arturo Arnaiz y Freg, "The Name of Element 23", *Nature*, 160, pp. 163-164. Versión en línea: <https://www.nature.com/articles/160163b0/>.

demasiado bien conocidos. Aquí sólo deseamos agregar que en 1831 Berzelius y von Humboldt reconocieron que la prioridad de Del Río era válida.

En esa misma carta contestan los comentarios del profesor F. A. Paneth⁸, además el profesor Sandoval Vallarta y el profesor Arnaíz acotan lo siguiente y citan a Del Río:

Por lo que se refiere a la validez de la demostración que dio Del Río del descubrimiento del elemento 23, el testimonio de Berzelius y Wöhler debería ser suficiente. Tal vez se demuestra mejor que el primero abandonó sólo temporalmente su pretensión con una cita tomada de su libro *Elementos de orictognosia*, impreso en 1832 y 1847: 'Así llamé yo eritronio a mi nuevo metal... pero *sic vos non vobis* el uso, que es el tirano de todas las lenguas, ha querido que se llame vanadio, no sé por qué divinidad escandinava; más derecho tenía seguramente otra mexicana, que en sus tierras se halló treinta años antes'.

Mandar muestras a Europa para los análisis químicos, y posiblemente espectroscópicos, habla del atraso que se padecía ya en Hispanoamérica, al despuntar el siglo XIX, con respecto a algunos países europeos; habla también de la inquietud y empresa científica de los habitantes del ya próximo México, pero también habla de la no independencia de criterios propios para establecer a rajatabla nuevos resultados científicos y mucho menos de la bravura y discurso necesarios para defender su legítimo derecho y aplicar con arrojo los nuevos resultados en beneficio de la población o, literalmente, ponerse de pie y defender sus descubrimientos ante los embates, o desconocimientos, de intereses externos.

En cierta forma, doscientos años después seguimos inmersos en este desfase científico, técnico y educativo

8 F. A. Paneth, "Letters to Editor", *Nature*, 160, p. 164. Versión en línea: <https://www.nature.com/articles/160164a0/>.

en el ya México independiente. Subsanan esto es parte de nuestra empresa educativa como país y como nación en un mundo global, competitivo y muy dinámico. Enseñar, aprender y practicar la ciencia como ciencia es la clave para el desarrollo de las ciencias, de las ingenierías, de la economía del país y, por consiguiente, del bienestar de su población.

En la ciudad de Estocolmo, el Palacio Real es un edificio cuadrado, con patio interior, alto, hecho de material pétreo, con una monumental entrada y explanada en medio círculo; en distribución y tamaño, recuerda al palacio de Carlos V en Granada, España —ahora Museo de Bellas Artes de Granada—. Como fortaleza, es naturalmente inexpugnable, dado el laberíntico entramado de las islas, islotes o cayos que forman el archipiélago. Está compuesto de 608 habitaciones, es la residencia oficial del gobierno monárquico y de la familia real de Suecia. En la misma isla está el centro histórico de la ciudad de Estocolmo, casi a un costado frontal, con sus nuevos edificios de tres pisos separados por callejuelas estrechas, con perfume de mar y mortecinas luces, que recuerdan las calles y los olores de un puerto, donde en cada recodo de las callejuelas podrían aparecer algarabías de marineros en su camino a embarcarse.

En el frente, en la isla vecina, está el Hall de la ciudad; es un edificio de plantilla cuadrada, color ladrillo, de patio interior, y con una alta torre emblemática en la esquina posterior derecha desde donde se domina la ciudad y el valle. Como torre de vigilancia es ideal. En la dirección de la parte posterior, pasando una isla, está el Museo Vasa, la exhibición principal es precisamente La Vasa, un galeón de guerra de tres mástiles que sobresalen del edificio construido para albergarlo. Está restaurado a su esplendor original del siglo XVII, ornamentado con cientos de esculturas finamente talladas en madera que van a lo largo de sus 69 metros de proa a popa. Nunca fue a la

guerra, se hundió cuando lo botaron y permaneció cerca de trescientos años en el fondo del mar y ahora espera, en exhibición, un cineasta visionario que lleve su historia a la pantalla grande.

La Vasa es uno de los museos más exitosos en el mundo con más de un millón de visitantes al año. Es un monumento a la perseverancia y al coraje humanos para sobreponerse a las adversidades de la naturaleza y de la vida. Construir la ciencia y la tecnología demanda estas aptitudes y actitudes. La tecnología debe desarrollarse sobre los conocimientos científicos más profundos, así los barcos no se hundirían al ser botados, ni los aviones se desplomarían o explotarían en vuelo.

Las pruebas en los laboratorios virtuales son las formas novísimas de construir los conocimientos técnicos y científicos de nuestra época, y luego, de forma segura, llevarlos a la práctica. Con este método el Vasa nunca se hubiera hundido, porque hubiera sido técnica y científicamente bien construido, con el consiguiente ahorro de tiempo, de recursos materiales y de recursos financieros. Los científicos y los ingenieros dedican la computadora más capaz actualmente, base de un laboratorio virtual de aerodinámica, a diseñar y probar los prototipos de nuevos aviones para transporte público de personas, entre otras muchas aplicaciones que una computadora tiene. Lleva por nombre TH-2 (literalmente Vía Láctea 2), pertenece a la Universidad de Sun Yat-sen, China, fue desarrollada por un equipo de 1 300 científicos e ingenieros⁹. La segunda computadora más capaz en el mundo está en Estados Unidos.

Todos los suburbios de la ciudad de Estocolmo están finamente e inteligentemente comunicados por rutas de barcos y de automóviles públicos y privados. Desde cualquier calle es posible llegar a cualquier calle.

9 Davey Alba, "China's Tianhe-2 Caps Top 10 Supercomputers", *IEEE Spectrum*. Recuperado de: <https://spectrum.ieee.org/tianhe2-caps-top-10-supercomputers/>.

No hay callejones sin salidas. Ahí mismo, el Palacio Real es el escenario, cada otoño, de la ceremonia de los Premios Nobel, ocasión en que se llena de policromías visuales y auditivas, aromas florales, además de la enorme sabiduría representada en las mentes y obras de las personas galardonadas. El Hall de la ciudad es el escenario del banquete de los Premios Nobel. Los otoños de Estocolmo se transmutan en fiestas de hombres y mujeres de ciencia, de política, de empresas y de nobles aspiraciones para la humanidad. Los recintos se llenan de música, de luz y de flores para dar curso al cumplimiento de la voluntad de Alfred Nobel.

Parte del testamento de Alfred Nobel dice: “El referido interés deberá dividirse en cinco partes iguales, que serán distribuidas como sigue: una parte para la persona que haya hecho el descubrimiento o la invención más importante dentro del campo de la física”. Esto explica por qué los inventores del transistor y el inventor de la telegrafía inalámbrica, del bisturí láser, del diodo emisor de luz azul y otros, por separado, recibieron el Premio Nobel en Física, se ajustan perfectamente a la voluntad de Alfred Nobel. Si no son resultados en ciencia básica, en física, ¿por qué se les otorga un Premio Nobel en física? Es una pregunta muy común. Es la voluntad de Alfred Nobel; su testamento lo declara así, y de la misma forma otros científicos han recibido un bien merecido Premio Nobel en física por alguna invención que ha cambiado el curso de la historia de la humanidad, como lo fue el ciclotrón o la fuente y acelerador de Cockcroft-Walton.

William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter Houser Brattain recibieron en 1956 el Premio Nobel en física “por sus investigaciones en semiconductores y su descubrimiento del efecto transistor”. Dieron a la humanidad el transistor, y la electrónica se volvió más eficiente, más compacta y más transportable, además de llegar a todos los seres humanos por lo muy económico de su

producción y a los rincones más apartados del planeta Tierra por lo portable de esta nueva electrónica.

Los rarámuris, en lo alto de la sierra tarahumara, en el estado de Chihuahua, se dice, escuchan las estaciones comerciales con sus pequeños radios transistorizados y se informan de lo que pasa en el mundo. Yo mismo aprendí inglés con un pequeño radio que ensamblé de tres radios inservibles que los vecinos me regalaron, a los 10 años, escuchando las estaciones radiodifusoras de Estados Unidos durante las noches. Los primeros radios que vi eran a base de válvulas termoiónicas, allá por el año 1965. Refiere este hecho a atraso tecnológico en el país, el transistor ya tenía más de diez años de haber sido inventado, pero la tecnología de la electrónica transistorizada no llegaba a la población en general.

Guglielmo Marconi y Karl Ferdinand Braun obtuvieron en 1909 el Premio Nobel en física “en reconocimiento a sus contribuciones al desarrollo de la telegrafía inalámbrica”. Obsequiaron la radio a la humanidad. Para 1921 ya se estaban instalando las primeras radios comerciales en Argentina y México. En el mundo se gestó una revolución cultural y social. Los líderes podían enviar mensajes a millones de personas al mismo instante en cadena nacional, cubriendo millones de kilómetros cuadrados de territorio en cuestión de segundos.

Karl Ferdinand Braun además inventó el osciloscopio —instrumento necesarísimo para estudiar el funcionamiento de los circuitos eléctricos y electrónicos— y el rectificador de voltaje a base de un cristal. Con estos dos inventos dio un impulso inusitado a la industria de la electricidad y la electrónica.

Nils Gustaf Dalén consiguió en 1912 el Premio Nobel en física “por su invención de los reguladores automáticos para uso en conjunción con acumuladores de gas para faros y boyas”. La navegación marítima se vio increíblemente beneficiada y muchas vidas humanas se salvaron, también muchos millones de toneladas de productos llegaron a sus

destinos con la consiguiente derrama económica para muchos pueblos.

Que Alfred Nobel haya mencionado el campo de la física en primer lugar en su testamento está sujeto a interpretaciones. Una podría ser que consideraba a la física la ciencia más importante. Sería otra de sus propuestas visionarias. La comunidad científica, ya en pleno siglo XXI, considera la física como la ciencia básica por excelencia y la más importante, y la que cala más hondo en el entendimiento de la naturaleza. Es la base de todos los desarrollos tecnológicos, grandes y pequeños, que sacuden a la humanidad de tiempo en tiempo. La web es un ejemplo reciente, el internet, otro. Quizá Alfred Nobel lo intuyó de esa forma. Sus trabajos de investigación estuvieron directamente relacionados con la física. La química, estrictamente hablando, es una parte de la física. La otra interpretación es que simplemente fue mencionando las ciencias conforme aparecían en su mente, sin ninguna razón para listarlas en el orden en que aparecen.

Lo verificable, lo que no está sujeto a especulación, es que el aporte financiero de los Premios Nobel, en particular el de física, al desarrollo de la ciencia ha sido decisivo. Es un estímulo, un acicate, una aspiración, es la coronación del esfuerzo creativo supremo del ser humano. Para el auténtico científico esto simplemente sucede, no lo busca. Pero cuando llega es de una ayuda suprema en muchos casos. Siempre hay necesidad de recursos monetarios.

El Premio Nobel en física es otorgado por la Real Academia Sueca de Ciencias en Estocolmo, Suecia. En la ceremonia general, se tienen los cinco Premios Nobel originales, en fisiología o medicina, física, química, paz y en literatura; más el de ciencias económicas que fue establecido en 1968, y otorgado por primera vez en 1969, en honor a Alfred Nobel. Fue establecido con una donación del Banco Central de Suecia a la Fundación Nobel, en ocasión del aniversario tricentenario de este banco.

CAPÍTULO IV

TERCER MOVIMIENTO

Entrevistas a Albert Einstein, y la física hasta el año 2022

XILeF, aceptar una entrevista no es simple ni directo. Tengo más de 75 años, cerca de tres cuartos de siglo bregando por la vida, ambicionando ápices de entendimiento del mundo natural. He logrado muchos, pero mi balance global es que no he logrado el esquema definitivo, únicamente he puesto peldaños, con la esperanza de que conduzcan a alguien a ese precioso esquema que nos permita entender la naturaleza. Tampoco sé si los peldaños que he puesto son los apropiados y definitivos. Con el tiempo lo sabremos.

Aunque quizá deba decir que esta entrevista es mi necrología en ropa holgada, sin cinturón, sin tabaco, ni música de violín, con los ojos llenos de agua salada. El tabaco me lo ha prohibido mi médico y mi música ya no la encuentro tan placentera como en antaño, es tan sólo un recuerdo de mi madre y de la reina Juliana de Holanda. Pero sépase que fumo a escondidas de mi secretaria, como un chiquillo desobediente y travieso. La comunidad científica me tiene por un ícono, por un símbolo, que ya debe prepararse para pasar a la historia. Un grupo de gente que me sigue ya embalsama mi historia.

Ya hace tiempo el Dr. Paul Arthur Schilpp, quien es ampliamente conocido en el mundo académico, me persuadió de escribir mi visión filosófica del desarrollo de la

física, mis notas autobiográficas. Lo he hecho hasta cierto punto con la esperanza de que mi recolección pueda servir a las generaciones que vienen detrás persiguiendo la quimera que yo perseguí. Pero esta es otra entrevista, más de ficción, pero sin detrimento de lo académico. Sólo en la imaginación.

Y ahora tú, XILeF, con esta entrevista de ficción, espero también que sea de mucha utilidad a las nuevas generaciones para dilucidar lo que hemos hecho, cómo lo hemos hecho y los caminos que posiblemente haya que recorrer para avanzar más en el entendimiento del gran libro de la naturaleza. Quizá no encuentres nada nuevo. Nada que no haya dicho antes. Hubo una entrevista que recuerdo bien, quince días antes de partir, divertida y muy enigmática. I. Bernard Cohen me visitó en mi casa, en Princeton, Estados Unidos, una tarde y platicamos por una hora o dos, fue llena de candor humano, un intercambio de opiniones muy ameno. La entrevista fue publicada en julio de 1955, en la revista *Scientific American*¹⁰. Como siempre, no quedé satisfecho. Pudo haber sido mejor, pero fue lo mejor que se pudo.

En esta entrevista, XILeF, déjame libre, porque soy libre, sin preguntas dirigidas. Al final me juzgas, no por lo que yo padezca o diga, sino por lo que yo haga. Mi visión filosófica es muy radical, independiente, muchas veces impertinente. Siempre insatisfecho con los logros científicos. Siempre buscando dónde mejorarlos. Siempre buscando donde las ideas fallan, no donde funcionan bien.

XILeF, la humanidad, como un ente completo, cambia a medida que avanza, o digamos, a medida que pasa el tiempo. Cada persona, y cada sociedad, también lo hace. Yo no fui la excepción. Cambié mi sentir, mi parecer y mi forma de aproximarme a los problemas sociales y científicos a medida que avancé. Mi visión del mundo cambió a

10 I. Bernard Cohen, "An Interview with Einstein", *Scientific American*, núm. 193, pp. 68-73. Versión en línea: <https://www.scientificamerican.com/issue/sa/1955/07-01/>.

lo largo de los años. Por ejemplo, el concepto de ciencia de Galileo no es el de J. C. Maxwell. Y no es el mío. Yo, Einstein, a los 20 años no era el mismo que yo, Einstein, a los 30 años, o a los 40, o a los 50, etc. Cada período, cada etapa, de la vida se ve matizado por las experiencias previas. Son etapas pasajeras, no definitivas. Por estas razones, cualquier intento de mostrarse como una persona estática, como un monolito, como una doctrina ya acabada, termina en la fatuidad. Exprimir la memoria o la experiencia en busca de lo que realmente es uno en cada etapa es algo que no resulta inmediato. Hay en cada momento, como en cada persona, un ente no estático, sino un ente puntual, localizado e instantáneo. Así que hablaré de un Albert Einstein puntual e instantáneo en cada punto de la vida, en cada tiempo. Exacto, XILeF, lo estás pensando, como la velocidad, o como cualquier otro concepto en la física. Son puntuales e instantáneos, pero también son promedios, no se te olvide, son valores que se acumulan a lo largo de varios años hasta sumar décadas. También así somos las personas.

XILeF, por el tiempo de mi infancia, recuerdo estar en una familia normal y convencional, en compañía de mi madre y mi hermana. Mi padre fue muy conservador, pero no más que mi madre. Mi brega por entender la existencia inició con explosiva vitalidad bajo ese cobijo que te da la familia; después supe que los mismos problemas y desafíos aquejan a todas las personas en alguna etapa de su vida y se prolongan a veces por toda la existencia. Yo, al parecer, fui precoz y esas preocupaciones se prolongaron por toda mi vida, aunque con menor intensidad en estos días, ya al final de mi vida. Bueno, ya concluida mi existencia.

De mí, de mi infancia, se cuentan historias muy chistosas: que era irascible, que era colérico, que era intolerante y que era callado, que aprendí a hablar muy tarde, y que era agresivo. Sí, todo eso es cierto. Pero también hay

mucho de ficción. Los humanos necesitamos de referencias, o como escribió Juan Rulfo, en boca de uno de sus personajes: “es difícil vivir cuando no se tienen raíces”. Nunca conocí, ni leí a Juan Rulfo. Es ficción.

El sistema y organización social en general, el sistema educativo en particular, fueron mi foco de atención y mi preocupación perpetua, y la fuente de mi desconfianza y enojos profundos, XILeF. El estado militarizado, por un lado, la educación rígida por el otro lado, contribuían de forma incesante a mi desconfianza y a mi intolerancia. Ustedes, los mexicanos —asumiendo que seas mexicano— tienen una frase que me gusta, y es muy apropiada en este caso de rigidez educativa y de gobernanza: “ni tanto que queme, ni tanto que no alumbre”. Hay en el medio un equilibrio funcional. La virtud está en medio.

Yo me di cuenta que todos participamos de esta efervescencia social cohesionados por circunstancias inherentes a nuestra biología o simplemente nos conducimos de esa forma por conveniencia. Y descubrí, por la misma época, que el estómago y la imagen social quedaban satisfechas, o parcialmente satisfechas para muchas personas, pero no el intelecto, ni al ser humano sintiente y pensante. De ahí mi frustración y enojo, de ahí esos sobrehumanos anhelos de ponerse muy por encima de esta forma de organización de la sociedad. Ser genuino, no aparentar serlo. No resultó fácil. Lo intenté de forma explosiva. XILeF, el andamiaje social ofrece distintas alternativas a todo ser humano: formas de explicación, satisfacción y realización. La escuela tradicional, con su aparato educativo dirigido y tendencioso, es una de ellas; la religión organizada, con sus propias pretensiones, otra de ellas; los institutos castrenses, otro.

Primeramente, la religión llamó mi interés y acaparó mis expectativas y esfuerzos primeros. Era como una aproximación a la certeza o a la esperanza de poder tener un conocimiento genuino acerca de la naturaleza y de

todo lo circundante. Fue por esfuerzo y convicción propios, mi familia es arreligiosa de origen judío, no practicante; llegué a una profunda religiosidad, comparable a la de Spinoza u otros filósofos consumados. Sin embargo, cambié abruptamente de parecer y esta búsqueda por la senda de la religión llegó de tajo a un fin: ayer era, hoy ya no, así fue. Las historias religiosas, aunque muy moralistas, no contenían el andamiaje que las mantuviera, por lo tanto, no podrían ser consecuentes. Simplemente tomé otra senda. Descubrí otra propuesta humana de entender el mundo. Descubrí la ciencia.

XILeF, mi aproximación a la ciencia, y mi alejamiento definitivo de una religión organizada, se dio mediante la lectura de los libros de divulgación de la ciencia. Recuerdo algunos muy bellos de Aaron Bernstein. Sin el lenguaje matemático, Bernstein exponía los conceptos científicos con singular maestría. Y dejaba ver la consistencia interna en la argumentación científica, la plausibilidad de los hechos y los argumentos; dejaba ver la belleza científica, y lo que se podía aspirar, llegar a ser y a entender. En la actualidad tuya, XILeF, buenos libros de divulgación de la ciencia son los de Carl Sagan, los de Isaac Asimov, o los de Leo Lederman, entre otros muchos. Ya sé que tú has publicado algunos libros de divulgación de la ciencia, XILeF; me gusta tu libro *La física de la música*, es muy original, se usa como libro de referencia en una escuela de música de España. Está en muchos sitios de la red mundial de internet en franco plagio; no hay mucho que hacer al respecto, ya son de la humanidad, gracias por ellos. Aprende que los libros se protegen con un *copyright* o derecho de copia en español. Aunque a veces ni con el derecho de autor se salvan.

De la ciencia me impresionó a perpetuidad el alejamiento de la autoridad para refrendar sus principios. La búsqueda de la consistencia de la información —la verdad, como se le llama—, basada en la evidencia observacional y

experimental, el establecimiento de principios físicos, me pareció una confirmación de la libertad de todo ser humano y la aspiración más íntima a buscarla para satisfacción personal plena. Mi intelecto e interés se catapultaron y la consecuencia fue un torbellino de libres pensamientos y un alejamiento de todo dejo de autoridad, ya del Estado, ya de la sociedad institucionalizada, o cualquier otra. El escepticismo hacia las creencias tácitamente aceptadas por la sociedad en su conjunto se instaló en mí, comparable en fuerza al escepticismo como sistema filosófico de Descartes. Esta actitud jamás me abandonó, aunque con los años perdió esa primitiva virulencia y enjundia jubilosa. El escepticismo como guía para la exploración científica es una actitud mental que predispone a la indagación. Yo lo practiqué a lo largo de mi vida.

XILeF, y quíéralo uno o no, esa actitud mental termina transformándolo a uno; le transforma la existencia, esa que está acorralada por deseos, sentimientos ocultos, y esperanzas tácitas; le transforma el mundo interior, ese que uno cree que es y que en todo momento defiende como el verdadero yo. Y allá afuera del yo más primitivo, había un mundo descomunal, que existe con independencia de nosotros los humanos, objeto de la ciencia y que está enraizado frente a los sentidos, y que se presenta como un profundo e inexpugnable acertijo, más difícil de conquistar que el mismo monte Everest, pero al menos accesible a nuestro escrutinio y aprehensión mental.

¡Gran acicate, XILeF! ¡La más grande de las aspiraciones humanas, entre todas las grandes aspiraciones humanas! Entender y explicar el mundo externo. En mi ánimo y en mi entusiasmo este descubrimiento fue como una poderosa descarga eléctrica. Todo mi ser se cimbró. No volví a ser el mismo. La inspección y análisis de ese mundo externo, en los límites humanos, es de lo más enigmático e increíble que pueda haber en este universo: la materia que se escruta a sí misma. En los libros de divulgación de la

ciencia que leí había muchos nombres, de hombres y mujeres, que habían dedicado su vida a la noble y desafiante tarea de develar los misterios del cosmos, de entender lo aparentemente inentendible de ese mundo externo.

La sola idea de dedicar mi vida a tan alta tarea, como esos hombres y mujeres lo habían hecho, estremeció todo mi ser y definió para siempre el rumbo de mi vida. Y también por la lectura de los libros de Bernstein llegué a entrever que los productos del entendimiento de la naturaleza —nuestras teorías y modelos— tienen implicaciones en el ámbito de la tecnología, la economía y el bienestar social en general, y son determinantes en el destino de un país. Todos los satisfactores de la vida en el mundo de todos los días son productos de la ciencia. Lo son la silla en la que nos sentamos, la computadora en la que escribimos, la ropa que usamos.

XILeF, por aquella época, después de que la emoción se estacionó en mi mente y aleteó en mi consciencia por muchos días, tomé el camino de la ciencia, el camino de explorar el mundo material armado con un legajo de ideas, el método analítico y el método experimental. Es como Thomas Alva Edison, el gran inventor mexicano (naturalizado norteamericano), lo decía: “todo consiste en un noventa y nueve por ciento de transpiración y un uno por ciento de inspiración”. Como sabes, Edison nació en Sombrerete, en el municipio del mismo nombre, en Zacatecas estado de la República mexicana, un 18 de febrero de 1848; su padre fue el Sr. Ingeniero en minas Samuel Alva Ixtlixóchitl. Por ese tiempo, México y Estados Unidos estaban en guerra, aunque ya casi terminaba. Yo nací 39 años después.

Así que, siguiendo la sentencia de Edison, el camino de la ciencia no prometía pétalos y aromas de rosas, sino un trabajo arduo y continuo. En cambio, se mostraba completamente seguro, y digno de seguir, con muchas satisfacciones por delante y una recompensa fuera de lo común y de una alta meta: entender el devenir del mundo

natural. Nunca me he arrepentido de mi decisión. Nunca me he arrepentido de haber dedicado mi vida a la ciencia. Muchos jóvenes pueden tomar esta alternativa en su vida, y no se arrepentirán.

Pero esto únicamente es un boceto de mis inicios, XILeF. Son unas cuantas líneas. Están muy lejos de hacer justicia a lo que verdaderamente fueron los comienzos de mi vida como científico. Alemania, como un Estado, se fundó en 1871, eso te da idea de lo joven que es. Por los mismos años también se fundó Italia. Aunque los pueblos, las villas, las regiones, y las comarcas de las tierras europeas son mucho más antiguas y de una milenaria tradición en la ciencia, en las artes y en las humanidades.

Europa tiene y ha tenido una larga tradición en las ciencias y en las artes, que ha trascendido las fronteras políticas, las geográficas y las culturales. De esta forma, no te asombre que una persona medianamente dotada de capacidades intelectuales encuentre los ambientes propicios para crecer y rendir frutos. En ocasiones se requiere sólo de información, de una infinita paciencia y de una imparable voluntad para conseguir resultados. Yo tenía la información científica y todo lo demás. Actualmente hay una gran facilidad para obtener información científica, vía web e internet, y una asombrosa capacidad de diseminación de la información a través de estos mismos medios. No te asombre que muchos hombres y mujeres de ciencia podrán surgir en el futuro. Asimismo, surgirán, seguramente, nuevas formas de educarse.

Entonces, XILeF, las posibilidades de que florezcan otras personas como yo, y logren cultivarse, se centuplican. Si tomas en cuenta que estos medios hiper masivos de intercambio de información son muy recientes, y que son acrónicos, multidireccionales, de muchas formas y prácticamente instantáneos, podrás dimensionar lo que ya podría estar ocurriendo, y cuyos efectos se notarán en el mediano plazo entre la población. Un curso en línea, por

ejemplo, de física o matemáticas del Massachusetts Institute of Technology (MIT) en Estados Unidos, puede ser visto por millones de personas en todo el mundo, y así lo mismo para todas las instituciones de educación superior del mundo. ¡Es una maravilla, XILeF!

Dentro de lo que se tiene que educar e informar el ser humano es el pensamiento. La mera recepción de imágenes, impresiones sensoriales e información no cataloga como pensamiento; tampoco, la serie de imágenes pasajeras, una después de la otra concatenadas, que pueden desfilan por nuestra mente aprueba como pensamiento. Sin embargo, cuando un cuadro mental se torna en muchas de esas series, entonces, precisamente a través de tal trocamiento, este se vuelve un elemento ordenador y conector para tal serie inicial. Tal elemento se vuelve un instrumento, se vuelve un concepto. La transición desde la libre creación y asociación, o ensoñación, al pensamiento es caracterizado por el más o menos dominante papel que el concepto juega en él. Consecuentemente, es imperativo que un concepto deba ser conectado con un signo sensorialmente cognoscible, decimos palabra y cuando este es el caso, el pensamiento llega a ser sin dudas comunicable. Nuestro pensamiento es un juego libre de conceptos.

Nuestro pensamiento se desarrolla en su mayor parte sin la intervención de signos, o palabras y dentro de un grado considerablemente inconsciente. Jules Henri Poincaré, Jacques Salomon Hadamard, y yo mismo, hemos reportado la espontánea maravilla ante un fenómeno ocurrido. Hadamard y Poincaré fueron contemporáneos míos, ambos matemáticos, y este último, además, fue un filósofo muy connotado en su tiempo y todavía lo es en estos tiempos.

No te asombre, XILeF, que yo tenga preconceptos muy parecidos o análogos a estos dos científicos, eran corrientes de pensamiento de la época. Tú mismo has ex-

perimentado esa creación súbita, o solución espontánea de algún problema, como me lo has platicado. Hadamard usa el concepto de introspección para describir el proceso mental matemático en su libro *Psicología de la invención en el campo de las matemáticas*. Algunos otros autores identifican el lenguaje y la cognición como base del pensamiento científico y matemático. Pero Hadamard describe su propio proceso matemático mental sin palabras, hecho de imágenes mentales que representan la solución entera de un problema. Hadamard fue mucho más lejos y realizó investigación de campo en esta área con unos 100 de los 1900 físicos de cierta relevancia en su época. Les preguntó cómo hacían su trabajo de creación. Y describe las experiencias de los físico-matemáticos como C. F. Gauss, H. von Helmholtz, H. Poincaré y otros como capturas espontáneas de soluciones. Es el preclaro estado mental representado por el “¡eureka!” de Arquímedes de Siracusa o por el “¡por Júpiter!” que a veces a mí se me escapa. Otros físicos y matemáticos han compartido esta forma de ver el proceso de creación entre ellos Helmholtz, así como sociólogos, ensayistas y políticos sociales como el británico Graham Wallas, cuyo pensamiento creativo en educación sigue dando excelentes frutos en la educación de los jóvenes ingleses.

XILeF, yo comparto muchas de esas formas de pensamiento creativo porque es mi propia experiencia. Esa es mi forma de creación. Para mí no está en duda que nuestro pensamiento se desarrolla en su mayor parte sin la intervención de signos o palabras y más allá dentro de un grado considerablemente inconsciente, aunque reconozco que deben de haber otros procesos creativos como el cinestésico o mezcla de sentidos, o el basado en el movimiento, o el sonoro, basado en la audición, o el espacial, basado en la percepción de figuras, proporciones o disposiciones geométricas. De cada uno de estos existe una forma de memoria.

Hay procesos mentales que desembocan en una especie de revelación y nos maravillan completamente inundándonos de asombro, de un peculiar estado de ánimo muy parecido a la euforia, XILeF. Esta maravillosa impresión parece ocurrir cuando una vivencia entra en conflicto con un mundo de conceptos que ya está suficientemente arraigado en nosotros. Cuando quiera que tal conflicto sea experimentado, dura e intensamente, este reacciona sobre nuestro mundo de pensamientos de una manera determinante. El desarrollo de dicho mundo de pensamientos es, en cierto sentido, un vuelo continuo a partir de las experiencias maravillosas, es como un contraste de sabores opuestos, y tal parece que no hay edad para eso. Simplemente la impresión es tan intensa y profunda que nos deja extáticos y con la boca y los ojos abiertos. Lo he visto en muchos niños y niñas. Con el tiempo, o con la educación formal, esta disposición a percibir lo maravilloso desaparece.

Yo lo experimenté a la edad de cuatro o cinco años al inspeccionar una brújula que mi papá me mostró. La aguja seguía cierto patrón en su devenir que no encajaba directamente en mi mundo de experiencias construidas a base de tocar, jalar y empujar. Siempre apuntaba en la misma dirección, y sin importar qué tanto la moviera en otras direcciones siempre terminaba apuntando hacia donde la había hecho antes en la dirección norte-sur. Esto no cupo de ninguna manera en la naturaleza de los eventos que podrían tener lugar en el mundo subconsciente de conceptos. XILeF, puedo todavía recordar, o al menos creo recordar, que esta experiencia produjo una impresión profunda e indeleble en mí, como la marca de un cráter en la superficie de la Tierra producido por el impacto de un bólide sideral e inconscientemente mi pensamiento y mi interés por los fenómenos naturales se transformaron.

Pensé que algo muy profundamente escondido tiene que estar detrás de las cosas y que no percibimos a

simple vista sino a través del entendimiento y el raciocinio. Lo que una persona ve ante él desde su infancia no le causa reacciones de esta naturaleza, se vuelve apático con el tiempo. La caída de los objetos no le sorprenden, tampoco el viento y la lluvia, o la luna, o que la luna no caiga, o que haya materia viva y materia no viva. Sin saberlo yo, las cosas maravillosas que suceden todos los días es el objeto de las ciencias naturales en particular de la física. Ese conocimiento empieza con la observación y registro de los hechos. Es el método inductivo, el método empírico.

XILeF, yo aprendí a hablar tarde con respecto a otros niños de mi edad y de mi sociedad, y también aprendí a leer tarde. Mis padres se preocupaban mucho por esto. Mi actitud, mis capacidades y mis logros mostrados en términos de mi edad eran imperdonables para mi sociedad. El círculo social donde mi familia se desenvolvía demandaba mucho en términos culturales y educativos. Llegaron a considerarme un retrasado mental, alguien que no podría aprender mínimamente un oficio para ganarse el sustento de la vida diaria.

Por el año 1891, cuando Alfred Nobel estaba en el pináculo de su carrera, a la edad de 12 años yo experimenté otra maravilla de una naturaleza totalmente diferente a la anterior: en un pequeño libro que trataba de la geometría euclidiana plana, que llegó a mis manos en el inicio de mis años de escolar, encontré de súbito el método axiomático o método deductivo. Este ya tenía más de 24 siglos de existencia en los trabajos de Euclides, o quizá más antiguo, pero se le reconoce a él la invención y el reporte más largo sobre su empleo en la obra *Elementos* de su autoría. Este libro permaneció como libro de texto por más de 22 siglos. XILeF, el método axiomático es un esquema maravilloso y era totalmente nuevo para mí. Fue objeto de mi maravilla por su consistencia interna y fina. En este librito había proposiciones como por ejemplo que la intersección

de las tres alturas de un triángulo se da en un punto único, la cual —por todos los medios evidente— podía, sin embargo, ser probada con tal certeza que cualquier duda parecía fútil.

Esta lucidez y certeza impactó demoledoramente en mí. Que los axiomas tuvieran que ser aceptados sin prueba no me perturbó porque aparecían como autoevidentes. Pero llegar a nuevas verdades y conocimientos a partir de concatenar algunas otras siguiendo ciertas reglas era realmente maravilloso, más de lo que yo podía sosegadamente admitir. Nuevamente mi entusiasmo por la ciencia remontó alturas insospechadas. Después supe que el método inductivo y el método deductivo se emplean en las ciencias naturales, en la física por excelencia. En cualquier caso, para mí era completamente suficiente si yo pudiera realizar demostraciones sobre proposiciones cuya validez no me parecía que fuera cuestionable.

XILeF, como parte de esta experiencia explosiva, recuerdo que un tío me contó del teorema de Pitágoras antes de que el pequeño libro sobre la divina geometría cayera en mis manos. Después de mucho esfuerzo tuve éxito en probar este teorema usando triángulos similares, aquellos que tienen la misma forma, es decir, ángulos iguales, y sus lados son proporcionales; si la proporción de los lados es uno, los triángulos se conocen como semejantes. Al hacerlo me pareció evidente que las relaciones de los lados de los triángulos rectángulos podrían ser completamente determinadas por uno de los ángulos agudos, aquellos que miden menos de 90 grados. Solamente algo que no aparecía ser evidente —en semejante forma— requería demostración, y eso me entusiasmaba mucho. No era un procedimiento adivinatorio, era un procedimiento deductivo donde la razón, el ingenio y la imaginación jugaban papeles preponderantes. Tampoco la demostración dependía de la opinión o parecer, o autoridad, de alguien, y eso me entusiasmaba todavía más.

Por otro lado, y también resultaba en extremo maravilloso, los objetos con los que trata la geometría parecían ser de naturaleza no diferente a los objetos de la percepción sensorial que pueden ser vistos, tocados, oídos, sentidos o gustados. Esto indica que la geometría es una parte de la física y que representa algo del mundo externo sensorial, que hay una relación uno a uno, entre los elementos conceptuales de la geometría y los objetos de los que trata la geometría en el mundo externo. Exactamente como en la física, al menos en la física creada antes de la teoría especial de la relatividad.

La idea anterior es muy primitiva y por ende parece estar arraigada en el subconsciente más arcaico. Algunos filósofos se han ocupado de ella en sus proposiciones filosóficas y desarrollo de sistemas filosóficos. Como Kant, en primer lugar, cuya filosofía sintética le pareció muy poco digerible al muy pragmático señor Alfred Nobel. Está en la base de la bien conocida problemática kantiana concerniente a la posibilidad de juicios sintéticos *a priori*, descansa obviamente sobre el hecho de que la relación de los conceptos geométricos —líneas rectas, segmento de recta, etc.— con los objetos de la experiencia directa —barras rígidas, intervalos finitos, etc.— está inconscientemente presente siempre. Es como una imposición adquirida por los siglos de evolución. Nuestra percepción por ende está condicionada por ese mismo hecho.

Para ilustrar lo anterior, valga un ejemplo de acondicionamiento a lo largo de la evolución: el sol emite luz en todas las frecuencias no con la misma intensidad, hay una frecuencia con la que emite a mayor intensidad; los ojos humanos no responden con igual eficiencia a toda la radiación que reciben, hay una frecuencia de la radiación a la que responden con mayor eficiencia; la frecuencia de la luz a la que el sol emite con mayor potencia y la frecuencia de la luz a la que el ojo humano responde con mayor eficiencia son exactamente iguales. Es la frecuencia del blanco

amarillo característico del sol visto desde la Tierra. Es un asunto de sobrevivencia o evolución hacia la optimización de las posibilidades de sobrevivencia.

XILeF, por la idea anterior, hasta cierto punto pareciera que es posible obtener algún conocimiento de los objetos de la experiencia por medio del pensamiento puro, en el más claro platonismo, porque se debe al idealismo de Platón esta propuesta. Sin embargo, esta oferta maravillosa está basada en un error, debe haber una base donde el conocimiento inicie, y ese punto es la experiencia más directa con el mundo externo. Es decir, vía cierta interacción del observador con el mundo externo, y luego cada deducción, o conocimiento nuevo adquirido, debe de cotejarse contra la evidencia observacional o experimental. De otra forma está el riesgo de perder completamente el camino científico.

Así que, para cualquiera que experimente esto por primera vez, es maravillosamente suficiente que el hombre sea capaz de alcanzar tal grado de certeza y limpieza en el pensamiento puro, como los griegos por primera vez nos mostraron en la geometría. Las bases deben ser propuestas por la evidencia observacional, y las conclusiones o deducciones deben ser confirmadas o refutadas por las evidencias experimentales. Este es el camino de las ciencias naturales. En cada uno de los pasos o estadios anteriores hay ciencia, arte y un cúmulo de virtudes humanas que son puestas a las más duras pruebas como la paciencia, la honradez, la perseverancia, etc.

Lo expuesto en los párrafos anteriores no corresponde con mis ideas en mis días de juventud. Han evolucionado lentamente a lo largo de los años y han recibido muchas influencias de muchos físicos, matemáticos, filósofos, pensadores de todas las afiliaciones sociales y científicas. Es lo mejor que ahora tengo. Lo que profesaba ya no lo recuerdo bien. Ahora es una epistemología científica más idealista. En mis primeros trabajos, y corresponde a

mis ideas científicas de mi juventud, me profesaba como un positivista, con una profunda influencia de filósofos y pensadores como Ernst Mach. Esta posición epistemológica cambió a lo largo de los años.

El trabajo del físico es múltiple, XILeF. Recaba información que se corresponde con la totalidad de las experiencias de los sentidos y formula sistemas de conceptos y proposiciones que pone a prueba experimental u observacional. Al encontrar confirmación experimental y ser aceptados como válidos van a parar a los libros de texto como un cuerpo de conocimientos bien establecido. Hay una relación lógico-deductiva entre los conceptos y las proposiciones. La física se establece entonces en analogía con la geometría axiomática. En ese sentido, la física ya establecida es un sistema axiomático deductivo. Hay principios o axiomas, hay conceptos que no se definen, hay conceptos que se definen y hay propuestas que se deducen de los principios. Estas deducciones reciben el nombre de leyes de la naturaleza, que deben ser contrastados para su validación o refutación, con la evidencia observacional. Los supuestos, obtenidos por la experiencia más amplia, y que forman la base de las explicaciones, reciben el nombre de principios físicos.

El primer principio de la electrodinámica de Maxwell es un ejemplo de principio en la física. En él se describe cómo es la fuerza entre dos cargas eléctricas en función de la cantidad de carga eléctrica, de los signos de las cargas eléctricas y de la distancia de separación entre las cargas eléctricas. También se llama principio de Coulomb o principio de Gauss para cargas eléctricas. La forma en que se combinan estas variables, la función analítica, fue establecida por observación como todo principio físico, no fue establecida *a priori* o deducida de alguna forma, por ello es un principio.

La carga eléctrica en una propiedad de la materia, es un ejemplo de concepto físico que no se define directa-

mente. Resistencia eléctrica es un ejemplo de concepto físico que se define como la razón entre el voltaje aplicado en los extremos de un material a la corriente que se establece por acción del voltaje aplicado; la trayectoria que sigue una partícula cargada en un campo eléctrico conocido, representada por una ecuación matemática, es una propuesta que se deduce de los principios de la electrodinámica clásica de Maxwell, y este resultado analítico necesariamente tiene que validarse experimentalmente.

El quehacer del pensamiento lógico es estrictamente lograr la conexión entre cada uno de los conceptos y las proposiciones de acuerdo a reglas muy bien establecidas y llegar a nuevos resultados, o conocimientos, que necesariamente deben de ocurrir. Por ejemplo, si dos rectas están en un plano y no son paralelas, entonces tienen un punto en común y solamente uno. Ese es el trabajo de la lógica. En la física, se tiene exactamente la misma estructura. Valga este ejemplo sencillo pero ilustrativo: si un sistema físico compuesto de dos masas iguales que se mueven con velocidades iguales y opuestas en un plano y colineales chocan, las velocidades después del choque serán iguales y opuestas a las velocidades antes del choque si la energía y el momento del sistema se conservan. Estos principios de conservación de energía y cantidad de movimiento también se establecen experimentalmente y se cumplen en todas las regiones de energía hasta ahora exploradas.

Los conceptos y las proposiciones en la ciencia, en particular en la física, adquieren significado, contrapuesto a contenido, solamente a través de su conexión con las experiencias sensoriales. Hay muchos ejemplos, casi todos los conceptos en las ciencias naturales son de este tipo: línea recta, punto, ángulo, desplazamiento, color, distribución, posición, etc. La conexión de estas últimas con los primeros es puramente intuitiva, no es de una naturaleza lógica deductiva, se da por experiencia directa con el mundo diario.

El grado de certeza por el cual esta relación, contrario a la conexión intuitiva, puede ser asumida hace la diferencia entre la fantasía hueca y la verdad científica. El sistema de conceptos es una creación del ser humano junto con las reglas de la sintaxis que constituyen la estructura de los sistemas conceptuales. Aunque los sistemas conceptuales son completa y lógicamente arbitrarios, ellos están circunscritos por el propósito de tener la más fiel certeza posible, intuitiva y la coordinación más completa con la totalidad de las experiencias sensoriales. Seguidamente, su propósito es lograr la mayor separación posible en sus elementos lógicamente independientes, los conceptos básicos y axiomas. Es decir, conceptos no definidos y proposiciones postuladas y asumidas como verdaderas sin ninguna demostración previa.

Una proposición es correcta si, dentro de un sistema lógico, es deducida de acuerdo con las reglas aceptadas de la lógica. Un sistema tiene verdad en su contenido en relación a la certeza y en relación a la completez de coordinación posible con la totalidad de la experiencia. Una proposición hereda su verdad del contenido de verdad del sistema al cual pertenece. Una verdad no es verdad de forma absoluta y universal, sino relativa y local al contexto dentro del cual se establece.

XILeF, a los científicos y filósofos les ha quedado más o menos claro este proceso de obtención de nuevas verdades a partir de verdades previamente establecidas. Hume, el filósofo empirista y escéptico por sistema, desde la perspectiva de la ciencia moderna, vio claramente que ciertos conceptos, por ejemplo, la causalidad en los fenómenos naturales, no pueden ser deducidos del material de la experiencia por métodos lógicos, deben obtenerse por experiencia, por observación directa. Kant, el filósofo idealista y criticista, completamente convencido de lo imprescindible de ciertos conceptos, los tomó —tal como son seleccionados— como las premisas necesarias de toda

clase de pensamiento y los diferenció de los conceptos de origen empírico.

Estoy convencido, de cualquier manera, que esta diferenciación es errónea, pues no hace justicia al problema de una forma natural. Todos los conceptos, aun aquellos que están muy próximos a la experiencia, son desde el punto de vista lógico, convenciones libremente seleccionadas, tal como es el caso con el concepto de causalidad, con él se empezó este primer ejemplo de situación problemática. Esta explicación es sólo para ejemplificar la selección y origen de los conceptos en las ciencias, especialmente en las ciencias naturales, porque es un problema muy difícil a la hora de construir un entendimiento de la estructura de las teorías del mundo natural. Podemos dejar esos problemas a los filósofos profesionales, especialmente a aquellos que les interese la estructura de las teorías físicas.

Sigamos conversando de mis años al inicio de mi vida, XILeF. A la edad entre 12 y 16 años —cuando Alfred Nobel redactaba su testamento y Planck iniciaba los estudios de la radiación del cuerpo negro que le conducirían a formular la hipótesis del quantum de energía— yo me familiaricé a mí mismo con los elementos de las matemáticas llamadas superiores, junto con los principios del cálculo integral y diferencial —función, derivada de una función, límite de una función, teorema fundamental del cálculo diferencial, integral de una función, integral de Riemann, teorema fundamental del cálculo integral, entre muchos otros conceptos—. Tú también lo hiciste, mi relato no es ajeno totalmente a ti, aunque las circunstancias fueron muy diferentes.

En el proceso anterior, tuve la buena fortuna de encontrarme con libros que no eran muy rigurosos en su estructura lógica. A la hora de presentar los conceptos permitían que los pensamientos principales quedaran de relieve clara y sinópticamente, como hay muchos libros así, en

estos días en todo el mundo, para iniciarse en el cálculo y las matemáticas superiores. Esta ocupación fue, después de todo como puedes imaginar, verdaderamente fascinante. Altas cumbres fueron alcanzadas cuyas impresiones dejadas podrían fácilmente competir con aquellas dejadas por la geometría elemental —la idea básica de la geometría analítica, la trigonometría plana, de las series infinitas, de la variable compleja, de las ecuaciones diferenciales, el concepto de integral y diferencial—.

Aunado a todo lo anterior, además tuve la buena ventura de conocer los resultados esenciales y métodos de todos los campos de las ciencias naturales en excelentes exposiciones populares, que se limitaban en su exposición completamente a los aspectos cualitativos. Las obras de Bernstein, libros populares sobre ciencias naturales, un tratado popular de ciencias en 5 o 6 volúmenes. Fue un trabajo que yo leí con profunda atención e infinita devoción, y aprendí mucho. Además de lo anterior, XILeF, yo también había estudiado por mi cuenta algo de física teórica, y para cuando, a la edad de 17 años, ingresé al Instituto Politécnico de Zúrich como estudiante de matemáticas y física. Ya llevaba mucha ventaja con respecto a mis compañeros.

Hacerlo no fue sencillo. Yo quería convertirme en profesor de física y matemáticas, pero no estaba preparado para el examen de ingreso, así que no me admitieron en el primer intento que realicé. Sin embargo, como mi desempeño en matemáticas y física fue bueno, me recomendaron estudiar algunas materias como idiomas, y otras de corte humanístico —historia, griego, latín—, en una escuela preuniversitaria para subsanar mis deficiencias, así lo hice. En el segundo intento, después de graduarme de la escuela preparatoria, fui admitido en una clase de 5 estudiantes después de aprobar los exámenes de ingreso. Eso me hizo inmensamente feliz, como nunca ante había sentido el orgullo personal.

Ahí, en el Instituto Politécnico de Zúrich, tuve maestros excelentes. Algunos que recuerdo son, por ejemplo, Hurwitz, y el malogrado Minkowski porque murió a los 45 años, como un matemático excelente. Por este camino pude haber obtenido una buena educación en matemáticas. Sin embargo, no fue así. Trabajé la mayoría del tiempo en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia. El resto del tiempo lo usé principalmente para estudiar en casa los trabajos magistrales y profundos, siempre alentadores, de maestros de la física como Kirchhoff, Helmholtz, Hertz y otros muchos. En hombros de estos gigantes de la física, logré compenetrarme en toda la física de mi tiempo y llegar hasta los problemas que se discutían en esos días. Las ciencias naturales me atraían más que las matemáticas. Así que decidí dedicarme a estas primeras, especialmente a la física.

XILeF, el hecho de que haya hecho a un lado las matemáticas, aquellas que me maravillaron en mis días de mi temprana juventud, hasta cierto punto tenía su origen no solamente en mi fuerte interés en las ciencias naturales, sino también en otras experiencias y creencias, como las siguientes por demás extrañas: las matemáticas, aunque muy profundas no ofrecen un panorama global y certero del mundo externo, son un lenguaje o una herramienta, no se refieren exclusivamente al mundo externo, ni a la naturaleza externa. Están divididas, o parceladas, en varias disciplinas o áreas. En la actualidad son siete: la teoría de los números, el álgebra, el cálculo, la geometría diferencial, la topología y la geometría. Cualquiera de ellas podría absorber el tiempo de vida de una persona sin mucha esperanza de hacer verdaderos progresos o contribuciones de mediana importancia. Me vi en una situación cómica, como el perro de las dos tortas, que no se decide por cuál empezar a comer, y se dedica hambrientamente a contemplarlas de ganchete.

Yo mismo me sabía no muy sobresaliente en matemáticas. Mi intuición en esta ciencia no bastaba para separar lo realmente fundamental de lo meramente accesorio o superficial, y me faltaba la erudición necesaria para destacar en cualquier campo de las matemáticas. Más allá de esto, sin embargo, mi interés en el conocimiento de la naturaleza fue muy arrebatador, y como bicho en la ciencia, fallé fatalmente. No me di cuenta sino hasta muchos años más tarde que en la ciencia, como en la física en particular, los avances más profundos van ligados a penetrantes desarrollos y formulaciones matemáticas del campo en estudio. Sin estas formulaciones, todo avance está negado de inicio. Los años fueron cementando esta convicción, y gradualmente fui entendiendo con mayor profundidad este hecho, con los años de trabajo científico independiente. Hasta llegar a no tener ninguna duda, el camino de la ciencia es ese.

Sí, XILeF, la física también está parcelada, como las matemáticas y como toda ciencia, en varias disciplinas aparentemente independientes —la mecánica cuántica, la mecánica clásica, la termodinámica clásica, la mecánica estadística, la teoría cuántica de campos, la electrodinámica clásica, la física matemática, la teoría general de la relatividad—. Cada uno de estos campos demanda y absorbe la vida de una persona, en un trabajo arduo, sin siquiera llegar a satisfacer el insaciable hambre de conocimiento profundo de todo científico. La increíble masa de datos experimentales, parcamente conectados, sobrepasan todas las fuerzas humanas, aun con todo el poder de cómputo actual en el mundo. Ante esta situación es allí donde entran otros sentidos humanos.

Yo aprendí pronto a oler y buscar hilos que conducen, en la maraña de la información, a los aspectos realmente fundamentales y soslayar cualquier otro que no tuviera esta característica. En el científico, este sentido, o aprendizaje, es verdaderamente vital, es equivalente al cazador

de hace muchos años que aprendía a seguir las huellas de los animales realmente importantes para su alimentación y dejar de lado las no prometedoras; equivocarse muchas veces quizá pudo significar la muerte de cazador por hambre, agotamiento, o por su misma presa. La disciplina mental es de importancia vital en estas pesquisas para el cazador más antiguo y para el científico más contemporáneo.

XILeF, para llegar a ser un buen cazador hay que someterse a una férrea disciplina física y mental. La preparación de un científico es tan dura o más dura que la de un cazador antiguo. La disciplina y la educación entran en juego. Aprender, por no decir absorber, una gran cantidad de información científica en un tiempo relativamente corto puede resultar de muy mal gusto porque pierdes el sabor de las cosas. Luego el sistema educativo te exige demostrarlo con base en los exámenes de conocimientos aplicados que son brutalmente obligatorios. Aquí no había posible escapatoria, había que transitar por el camino ya trazado.

Así es, XILeF, aprobé los exámenes, atragantando una cantidad enorme de información y luego expeliéndola, ante los profesores, para su examinación. Tuvo un efecto negativo en mí. Pasé un año entero sin poder enfocarme en un problema científico, tal fue el sinsabor que este proceso dejó en mí. El sistema educativo tradicional varía de país a país. En Suiza es menos corrosivo que en Alemania, es decir, es menos demandante. Pero también se ven los efectos de esta disciplina educativa: en Alemania se produce mucho más ciencia y tecnología que en Suiza. Esta coerción tuvo su efecto inconveniente sobre mí de tal forma que, después de que hube pasado los exámenes finales, encontré considerar cualquier problema científico de mal gusto por todo un año. Para ser justo debo agregar que en Suiza nosotros tenemos que sufrir mucho menos bajo tal coerción, que lima todos los impulsos verdaderamente científicos, también este es el caso en muchas otras localidades.

Había solamente dos exámenes completos a lo largo del ciclo escolar. Aparte de ellos, uno podía hacer justamente lo que le placiera, no ir a clases si así lo deseaba. Este era especialmente el caso si uno tenía un amigo, como yo lo tenía, que atendiera las clases regularmente y que trabajara en su contenido conscientemente. Así me liberaba y me permitía dedicarme a lo que quisiera hasta unos pocos meses antes del examen, una libertad que gocé grandemente, no sin remordimientos de consciencia.

La educación es una ciencia y es un arte, XILeF. Resulta, de hecho, más que un milagro que los métodos modernos de instrucción no han estrangulado la divina curiosidad de la investigación científica y la exploración de la naturaleza porque esta delicada actitud o disposición, lejos de ser estimulada, está siempre necesitando libertad, cancha y fronda. Sin eso, la divina curiosidad se va al fracaso y a la ruina, y la ciencia y el progreso humanos se estancan. Pero en educación nunca se sabe del todo, no es una ciencia exacta y depende fuertemente de la persona que recibe la instrucción. Mi caso no fue la excepción. Hay errores y hay aciertos como en todo proceso. La libertad con principios es un acierto, la coerción sin reglas, un error.

Además, es un grave error pensar que el gozo por entender e investigar la naturaleza puede ser promovido por medio de la coerción en un sentido de obligación, a palos, a gritos y a empujones. Por el contrario, considero que sería posible extraer de la bestia de presa más saludable su voracidad y su fuerza, aun cuando no esté hambrienta, con la ayuda de una paliza. Especialmente si la comida, quitada por medio de esa coerción, tuviera que ser seleccionada de acuerdo con las circunstancias. Así a veces se ve la educación. ¿Por qué atragantarse en cuatro años con algo que podrías disfrutar a lo largo de 30 o 35 años? El proceso educativo de nuestra sociedad, de nuestros y nuestras jóvenes, niños y niñas, debemos planteárnoslo continuamente en beneficio de la sociedad completa.

Me gradué en 1900, con la ayuda de las notas de mis condiscípulos. Fui el cuarto del grupo de cinco, nada espectacular. Después enfrenté el desempleo, no había un puesto de profesor de física y matemáticas para alguien con mis calificaciones. Si la sociedad se presenta dogmática en su estructura y en sus reglas, XILeF, la ciencia se presentaba todavía más dogmática y rígida. Muchas mentes excelsas habían contribuido a este estado. A pesar de todos los esfuerzos vanos y particulares, la rigidez dogmática prevalecía en el terreno de los principios científicos: se admitía que los principios de la mecánica clásica, y las fuerzas y los objetos habían sido originados en algún momento de la historia del cosmos. El físico simplemente interpretaba lo que veían sus ojos y sus otros sentidos con la ayuda de métodos matemáticos que empleaban el método deductivo. Es el programa científico que algunos científicos, los físico-matemáticos, propusieron y desarrollaron. Es la propuesta de Pitágoras llevada al extremo casi dogmático.

En el siglo XIX los físicos matemáticos lograron consolidar este edificio sobre los cimientos de la fuerza, el tiempo, el espacio y la aplicación de la teoría de las ecuaciones diferenciales parciales, quedó reluciente, sólido e incólume. El mismo Newton sentó las bases de esta propuesta de edificio en su teoría sobre la transmisión del sonido desarrollada con base en ecuaciones diferenciales parciales. Euler amplió este programa para sentar las bases de la hidrodinámica, la mecánica de las masas discretas y puntuales, como la base de toda la física. Y estos esfuerzos se coronaron con éxito para admiración de todo ser pensante, para gloria del siglo XIX. Parecía un edificio destinado a durar por toda la eternidad. Ese portentoso edificio dogmático construido para explicar el mundo externo exhibía una peculiaridad más: podía aplicarse con igual éxito en áreas aparentemente desconectadas o, sin relación aparente, para explicarlas con el mismo éxito.

La teoría mecánica de la luz: que proponía a la luz como una onda en movimiento en un éter con propiedades extrañas como rigidez extremadamente alta —para dar cuenta de su enorme rapidez— y sutilidad extremadamente baja —para no interferir en el movimiento de los planetas—.

La teoría cinética de los gases con estos logros espectaculares: la independencia del calor específico de los gases monoatómicos del número atómico, la obtención de la ecuación de estado de un gas y su relación con el calor específico, la teoría cinética de la disociación de los gases y los tamaños relativos de los átomos revelados a través de la conexión de la viscosidad, de la conductividad térmica y los coeficientes de difusión de los gases. Todo muy espectacular desde el punto de vista intelectual y científico.

Fueron logros rotundos e inéditos sin paralelo en la historia de las ciencias. Estos resultados sustentaron, además, a la mecánica clásica como una teoría de teorías, y la confirmaron como el fundamento de la física y modelo de teoría física. También formaron el cimiento de la hipótesis de los átomos. Esta última fue ampliamente confirmada y fundamentada por las indagaciones en la química. A lo muy pitagórico, por hablar no de valores absolutos sino en términos de razones y proporciones, en la química las masas atómicas juegan algún papel, no sus magnitudes absolutas, sino de sus proporciones. De esta forma, la teoría atómica de la materia puede ser vista más como un símbolo de visualización que como un conocimiento concerniente a la real construcción de la materia.

También me llamó poderosamente la atención el hecho de que de la mecánica clásica estadística pudieran obtenerse de las leyes básicas, o principios, de la termodinámica clásica. Hombres muy capaces intelectualmente realizaron estas investigaciones y construyeron estos conocimientos, entre ellos destacan Boltzmann y Maxwell. XILeF, me sorprende enormemente el conformismo de

muchos y la audacia de unos pocos físicos para transformar el conocimiento de esa época. Casi todos los físicos, exceptuando un puñado de ellos, vieron a la mecánica clásica como la base firme y final de toda la física y, de la misma forma, de todas las ciencias naturales. Incluían, además, a la electrodinámica clásica de Maxwell, que ya apuntaba en una dirección completamente diferente a la mecánica clásica de Newton, y se erigía por sobre todas las teorías rivales dejándolas muy atrás y superándolas en todos los aspectos.

Aun excepcionales físicos y científicos como J. C. Maxwell y H. Hertz, que en retrospectiva lucen como aquellos científicos que demolieron los fundamentos basados en la mecánica clásica, como la base final de todo pensamiento físico, en su pensamiento inconsciente se adhirieron a toda la mecánica clásica como la base más segura de toda la física. El programa para coronar a la mecánica clásica como la teoría de teorías fracasó. Es simplemente un paso intermedio de una propuesta más general.

XILeF, grandes pensadores como el filósofo austriaco, Ernst Mach, contribuyeron a demoler el gran edificio científico en el que se había convertido la Mecánica Clásica de Newton. Su celebrada obra *Desarrollo histórico crítico de la mecánica* cimbró esta creencia dogmática entre los físicos de aquella época. Fue un libro excepcional que ejerció una poderosa influencia en los círculos académicos de finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Yo lo leí y ejerció sobre mí una gran influencia no sólo en mis días de estudiante sino casi a lo largo de mi vida como científico. Una marca indeleble en la formación científica de mi pensamiento.

El inquebrantable escepticismo y la lejana independencia de Mach fueron la cimiento de su grandeza científica, como físico y como filósofo. Un modelo de pensamiento científico a seguir. Repartía a manos llenas su propuesta epistemológica entre la juventud estudiosa in-

fluyendo decididamente en ella. Yo no fui la excepción, me influyó con su epistemología. Su propuesta ahora me parece insostenible, pero muy válida por aquellos años. Fue fundamentalmente positivista. Esta propuesta pregona que todo elemento especulativo no tiene cabida en una teoría física y que todo concepto científico debe tener su definición en un procedimiento de medida y observación. Por ejemplo, el tiempo y espacio absoluto de Newton ni siquiera llegan a elementos especulativos, son ficciones introducidas por Newton en tu teoría de la mecánica clásica. Mach las rectifica y, al hacerlo, transforma la visión que se tiene de la naturaleza. Corrige el camino científico.

Si la propuesta anterior se toma como base, muchos esfuerzos del pensamiento especulativo en la física, que resultaron muy fructíferos, nunca hubieran prosperado. Mach condenó la mecánica clásica especialmente en los puntos donde aparecían propuestas especulativas, como la teoría cinética de los gases o la teoría atómica, entre muchos otros. La electrodinámica de Maxwell y la teoría de la relatividad especial, bajo esta concepción epistemológica, nunca hubieran prosperado, o quizá hubieran prosperado de otra manera. En la teoría atómica se equivocó rotundamente. XILeF, toda teoría acerca del mundo externo debe cumplir ciertos requisitos para aspirar a ser candidata a representarlo. Bajo estos preceptos es posible criticar toda teoría física y sacar a la luz más conocimientos acerca de las teorías físicas. Por supuesto, estos requisitos, aunque son muy simples y generales, pero no dejan de ser arbitrarios. La teoría candidata no debe contradecir resultados empíricos, sino basarse en premisas simples y naturales.

La premisa uno debe parecer evidente, pero no lo es. Siempre es posible rebuscar las propuestas, ajustarse a los hechos experimentales y observacionales a costa de la claridad de las teorías, introduciendo supuestos adicionales con esa sola justificación. En última instancia, los fundamentos de toda teoría deben estar respaldados

por las evidencias experimentales y observacionales. La premisa segunda debe parecer simplista y vaga, pero no lo es. La naturalidad y la simplicidad deben ser adjetivos de las premisas básicas de la teoría y de las relaciones entre las premisas básicas. En la práctica aplicar estos criterios para construir teorías, o discriminarlas, no resulta sencillo. Ante la disyuntiva de discriminar teorías con principios igualmente simples, se debe preferir como superior aquélla que limita más abruptamente las cualidades de los sistemas en abstracto, es decir, contiene las aserciones más definitivas.

Construir teorías físicas, o discriminar entre teorías ya hechas, no es una tarea simple. Los criterios anteriores son una guía al pensamiento, son criterios de los criterios. Estas teorías tienen como objeto la totalidad de los hechos físicos, o la totalidad de las apariencias físicas. La elección no es arbitraria. Deben intervenir factores como perfección interna y confirmación externa entre otros factores. Así es, XILeF, la mecánica clásica como base de todo el conocimiento científico del mundo natural tiene serios inconvenientes. Por mucho que queramos, el mundo externo no es enteramente mecánico. La luz, por ejemplo, explicada como una onda mecánica, no tiene confirmación experimental. Se requiere postular una substancia, el éter con propiedades mecánicas muy singulares, que es el medio que vibra para dar origen al fenómeno llamado luz. Luego la luz no es un fenómeno mecánico.

El sonido y la luz son fenómenos ondulatorios, pero sus constituciones son muy diferentes. El sonido es la sensación auditiva en el interior del oído producida por las perturbaciones mecánicas de un medio elástico como el aire o un medio material cualquiera. Son oscilaciones en la dirección de propagación de la onda. Estas vibraciones no afectan a los ojos, en el sentido que no vemos con ellas. La luz es la sensación oftálmica en el interior del ojo producida por las perturbaciones no mecánicas de un medio como el

campo electromagnético. Son oscilaciones perpendiculares a la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas. Estas ondas no afectan los oídos, en el sentido de que no oímos con ellas.

El éter debería de ser incompresible en la dirección longitudinal para que ondas de luz longitudinales no se produjeran y con la propiedad mecánica para que se produjeran ondas transversales, es decir, elástico en la dirección transversal y completamente rígido en la dirección paralela. Estas propiedades singulares y sorprendentes evidencian que el éter no existe físicamente. Por otro lado, como los objetos no se frenan al pasar por el éter, este debería de ser sutilísimo y no interactuar con los cuerpos ponderables. Para explicar el índice de refracción de cuerpos transparentes, y no transparentes y así como también el proceso de emisión y absorción de la radiación por los cuerpos, hay que asumir complicadas acciones recíprocas entre la materia y la radiación. Ningún físico tomó en serio estas posibilidades. Se desecharon.

Las fuerzas electromagnéticas se generan en cargas puntuales de electricidad, análogas a las fuerzas gravitacionales producidas por masas puntuales, sin inercia medible, interaccionan unas con otras, y hay tres tipos: positivas, negativas y neutras. La fuerza entre cargas eléctricas es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación entre las cargas. A diferencia de la fuerza gravitacional, que sólo es atractiva hasta donde se conoce, la fuerza eléctrica entre cargas eléctricas puede ser además repulsiva; cuando las cargas eléctricas son de signo igual la fuerza entre ellas es repulsiva; cuando son de signo opuesto, atractiva.

El gran triunfo de la electrodinámica de Faraday y Maxwell fue el factor decisivo para que todos los físicos abandonaran el proyecto de basar todo el entendimiento del mundo externo en la mecánica de Newton. Fue una

renuncia muy costosa. La propuesta de considerar todo el universo como una gigantesca maquinaria llegó a un punto de inviabilidad entre los físicos secundados por los filósofos. Dicha teoría, con su confirmación en los experimentos de Hertz, mostró que hay fenómenos electromagnéticos que por su propia naturaleza están separados de cualquier cosa que se pueda llamar materia ponderable —las llamadas ondas en el espacio vacío las que consisten de campos electromagnéticos—. Además unificó la electricidad, el magnetismo y la óptica bajo los mismos principios. Esta es una gran maravilla y un logro del intelecto humano.

Los embates de Lorentz, y otros físicos y filósofos de la ciencia, a la electrodinámica de Maxwell para reducirla a principios mecánicos siempre fracasaron. Ellos centraron sus intentos en interpretar las ecuaciones de Maxwell desde las propuestas de la mecánica de Newton. La operatividad de la electrodinámica de Maxwell no depende de la interpretación mecánica de los campos, por lo que no se requiere un entendimiento de estos últimos en términos mecánicos. Son formas de materia y energía equivalentes a la materia ponderable que simplemente siguen otros principios. Debido a esto, todos los intentos de reducir la electrodinámica de Maxwell a la mecánica de Newton no prosperaron, y los físicos dejaron todo intento de llegar a esa formulación. La primitiva idea de Pitágoras finalmente fue superada.

XILeF, actualmente los físicos aceptan dos conceptos fundamentales en toda teoría física: los campos continuos y los puntos masivos discretos. La fuerza entre puntos materiales depende de la distancia entre ellos y la fuerza entre campos también depende de la distancia entre ellos. Este estado es insatisfactorio debido a esta dualidad partícula-campo, pero funciona, y es lo único que lo justifica. Este esquema está lejos de ser reemplazado por los físicos, ya que están contentos con este esquema conceptual.

Aparte de lo insatisfactorio del esquema anterior, que debería ser uniforme para empezar a ser satisfactorio, hay otras observaciones que es necesario hacer: lo general de los principios básicos sobre los que se sustenta la teoría, el grado de abstracción de estos y la confrontación de las predicciones de la teoría con los hechos experimentales. Mientras más generales y abstractos los principios, más difícil es la confirmación experimental de las predicciones de la teoría. Ilustrar lo anterior es muy sencillo en las ciencias, XILeF, y en la mecánica de Newton son abundantes estos ejemplos. Hay uno muy famoso, es la observación de la cubeta de Newton, con este experimento infirió el espacio absoluto.

Consiste en lo siguiente: un cubo, o contenedor de agua, colgado de una cuerda gruesa, como si fuera un columpio. Newton lo llenó de agua, retorció la cuerda y lo dejó girar libremente. Al principio el cubo gira, pero el agua no; se presenta una superficie plana, el cubo gira con respecto al agua; inmediatamente el movimiento empieza a transmitirse al agua que empieza a girar con el cubo y su superficie va adquiriendo una superficie parabólica; después de un cierto tiempo, cubo y agua giran como si fueran uno, el cubo está en reposo con respecto al agua. Llegamos un momento en que el cubo se detiene, pero el agua sigue girando. Newton hace notar que el movimiento sólo tiene sentido referido a algo. Ese algo cuando cubo y agua están en reposo relativo, pero están girando, lo hacen con respecto al espacio absoluto.

Para hacer la descripción del movimiento se requiere un sistema de coordenadas o un espacio físico. Ese espacio físico es descrito por la geometría de Euclides. Desde el punto de vista de la descripción de la geometría euclidiana todos los sistemas de coordenadas, podemos decir euclidianos, son entre ellos lógicamente equivalentes. Las ecuaciones de la mecánica de Newton, por ejemplo —esto es ya una verdad desprendida de la ley de

inercia—, cobran validez solamente cuando son referidas a un sistema particular de tales sistemas, es decir, los llamados sistemas inerciales.

En este sistema de coordenadas, la noción de cuerpo extenso no tiene ningún significado. Es necesario, por lo tanto, para justificar la necesidad de la elección específica, buscar lo que existe fuera de los objetos, como las masas o las distancias con los que trata la teoría. Por esta razón, espacio absoluto como originalmente determinativo fue completa y explícitamente introducido por Newton como el omnipresente activo participante de todos los medios mecánicos. Por absoluto Newton obviamente quiere decir inafectado por las masas y sus movimientos, completamente apartado de estas. Lo que hace este estado particular de cosas insatisfactorio es el hecho de que supuestamente hay un número infinito de sistemas inerciales, en movimiento de traslación relativo y uniforme unos con respecto a otros, que al parecer son distinguibles entre todos los demás sistemas de coordenadas rígidos. Newton no dice cómo obtener o construir un sistema de referencia inercial. No obstante, propuso que uno anclado a las estrellas fijas podría ser un buen ejemplo. Cualquier otro es uno que se desplace con velocidad constante con respecto al primero.

Sí, XILeF, en un sistema de referencia inercial, la inercia de un cuerpo tendrá que depender de la interacción de este cuerpo con el resto que puebla el universo, justo como las otras fuerzas sobre los cuerpos dependen de las interacciones de esos cuerpos con otros cuerpos. Esta fue la propuesta de Mach, y se asume que en el fondo la teoría de esta interacción es del tipo de la mecánica de Newton, con las masas y sus interacciones como sus conceptos primeros. La propuesta anterior no cuadra con una teoría de campo consistente con los hechos. Newton privilegió, o distinguió, sin ningún argumento a favor, los sistemas de referencias inerciales con respecto a otros sistemas de re-

ferencia porque les adjudicó propiedades especiales o absolutas a estos sistemas de referencia. De ahí lo peligroso de la propuesta.

Como quiera que sea, la crítica de Mach a la mecánica es, en esencia, que puede ser vista particularmente clara de la siguiente analogía: permítasenos imaginar a unas personas que construyen una mecánica, que conocen solamente una fracción muy pequeña de la superficie de la Tierra y que además no pueden ver ninguna estrella. Ellas estarán inclinadas a adscribir atributos físicos especiales a la dimensión vertical del espacio, la dirección de la aceleración de los cuerpos cayendo, y, en el terreno de tal base conceptual, ofrecerán razones tales como que la tierra es horizontal en la mayoría de los lugares. No se permitirán a ellas mismas ser influenciadas por el argumento, que como concierne a las propiedades geométricas, el espacio es isotrópico y que por lo tanto es supuestamente insatisfactorio postular una ley física básica, de acuerdo con ella hay supuestamente una dirección preferencial. Estas personas probablemente se sentirán inclinados, análogamente a Newton, a afirmar lo absoluto de la vertical, como la experiencia lo prueba como algo con lo cual uno simplemente tendría que arreglárselas. La preferencia dada a la vertical por sobre todas las otras direcciones espaciales es precisamente análoga a la preferencia dada a los sistemas inerciales sobre cualquier otro sistema de coordenadas rígido.

La mecánica clásica, de Newton, es internamente simple. Aquí algunos argumentos: Si uno señala los conceptos de espacio, e incluye la geometría y el tiempo, sin dudas y sin críticas, entonces no existe razón para objetar la idea de acción a distancia, aunque tal concepto es irreconciliable con las ideas que uno se forma a partir de las bases de la experiencia cruda de la vida de todos los días. Hay otras consideraciones que hacen que la mecánica, tomada como la base de la física, aparezca como primiti-

va. Por ejemplo, la ley del movimiento, y la expresión para la fuerza o energía potencial.

La ley del movimiento es precisa, aunque hueca, a menos que la expresión para las fuerzas sea dada. En la postulación de la última, empero, hay mucho lugar para la arbitrariedad o para la elección, especialmente si uno omite la exigencia, que no es muy natural. En cualquier caso, que las fuerzas dependen del sistema de coordenadas y, por ejemplo, no de sus cocientes diferenciales con respecto al tiempo. La masa que entra en la expresión para las fuerzas es una y la masa que entra en el principio de gravitación es otra. Ambas son equivalentes, pero se refieren a conceptos diferentes. Numéricamente son iguales. Y hay fuerzas que no dependen de las masas, como la fuerza eléctrica entre cargas eléctricas. La división de la energía de un sistema físico en energía potencial y energía cinética es arbitraria e insatisfactoria, no natural. Hertz trató, en vano, de eliminar el concepto de energía potencial de la física. Lo que equivaldría a eliminar el concepto de fuerza en la física. No lo logró.

No sólo el gran edificio de la mecánica clásica llamó mi atención, también, el de la termodinámica clásica. Considero que es la única teoría física, de contenido universal, que yo estoy convencido que, dentro del marco de referencia de la aplicabilidad de sus conceptos, nunca será suplantada porque posee esa universalización de sus conceptos y sus aplicaciones. También, con mucho encanto, me ocupé de la electrodinámica clásica de Maxwell. Por eso, XILeF, la materia de estudio más fascinante en el tiempo que yo era estudiante era la teoría de Maxwell. La gran innovación revolucionaria dentro de esta teoría es la transición de fuerzas a distancia a campos locales y de interacción. La innovación era muy profunda.

La teoría de Maxwell es una teoría de unificación. Se unifican, bajos los mismos principios, el magnetismo, la electricidad y la óptica. Como lo es la teoría de la mecánica

clásica de Newton, donde se unifican la mecánica de los móviles terrestres y la mecánica de los cuerpos celestes. La unificación de la óptica con la teoría del electromagnetismo, con su relación de la velocidad de la luz al sistema absoluto de unidades, la relación de la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío con la permitividad eléctrica del vacío y la permeabilidad magnética del vacío, al igual que la relación del coeficiente de refracción con la constante dieléctrica del material, la relación cualitativa entre el coeficiente de refracción y la conductividad metálica del cuerpo, caló muy hondo en mi mente y me hizo divagar es éxtasis intelectual. ¿Cómo son posibles tales relaciones? Me hizo pensar que una teoría del todo podría ser factible, sólo habría que obtener los constituyentes de esta teoría.

Además de la transición a una teoría de campo local, es decir, la expresión de los principios fundamentales en ecuaciones diferenciales, Maxwell requirió un sólo paso hipotético siguiente: la introducción de las corrientes de desplazamiento en el vacío y en el dieléctrico y sus efectos magnéticos. Una innovación que fue casi anticipada por las propiedades formales de las ecuaciones diferenciales basales de la teoría. Las corrientes de desplazamiento resultaron importantísimas en las predicciones de nuevos fenómenos como la existencia de las ondas electromagnéticas y en las tecnologías por venir, como las de la información y de la comunicación que actualmente vives, XILeF.

¿Sabes?, me llama poderosamente la atención que el par dinámico Faraday-Maxwell tiene un sin igual paralelismo con el par Galileo-Newton: el primero de cada par entrevió experimentalmente y observacionalmente las relaciones intuitivamente para describir los fenómenos que estudiaban, y el segundo de cada par formuló, explicó y fundamentó esas relaciones exactamente y las aplicó cuantitativamente para desarrollar la explicación. XILeF,

toda propuesta de explicación del mundo es limitada, la de Maxwell no es la excepción.

A pesar de estos espectaculares logros, de sus ecuaciones no se deriva la explicación del equilibrio de la electricidad que constituye una partícula, en un electrón, por ejemplo. Solamente después, ecuaciones de campo no lineales pudieron dar estos resultados. Empero no existe un método para descubrir, escribir o inventar esta clase de ecuaciones de campo sin que uno se aventure en una arbitrariedad decadente. En cualquier caso, uno podría considerar que es posible, en breve, encontrar una nueva y segura fundamentación para toda la física siguiendo el camino que ha sido tan exitosamente comenzado por Faraday y Maxwell, una fundamentación análoga a la conseguida en la mecánica clásica o quizá más profunda. Estamos en el camino.

XILeF, la revolución que empezó en segunda mitad del siglo XIX, con la introducción del concepto de campo y la sustitución del concepto de fuerza, de ninguna manera ha terminado. Entonces ha ocurrido que, al finalizar el siglo XIX, independientemente de lo que he planteado, una segunda crisis fundamental se gestó en la física. La profunda seriedad de ella fue reconocida sorpresivamente debido a las investigaciones de Max Planck en torno a la radiación térmica cerca del año 1900, y el desenlace en la creación de la teoría cuántica.

La historia de este evento, o serie de eventos, es de lo más increíble porque, al menos en esta primera fase, no fue de ninguna manera influenciado por algún descubrimiento sorprendente y repentino de naturaleza experimental. Toda la historia y el ocurrir de los hechos parecía normal, la distribución espectral de la radiación del cuerpo negro parecía un problema como cualquier otro que había que darle solución desde el punto de vista termodinámico.

Basándose en la termodinámica clásica, el eminente Kirchhoff había concluido que la densidad de energía y la

composición espectral de la radiación en una cavidad de radiación a una temperatura T , rodeada por paredes impenetrables de un metal, son independientes de la naturaleza material de las paredes de la cavidad de cuerpo negro. Esto es, la densidad de la radiación monocromática, es una función universal de la frecuencia y de la temperatura absoluta T del cuerpo en equilibrio termodinámico con el campo de radiación electromagnética.

Planck encontró cómo describir esa distribución de radiación espectral. Introdujo, para ello la hipótesis del *quantum*; propuso que la energía de radiación electromagnética al intercambiarse con las paredes del recipiente está cuantizada, y que esa energía es proporcional a la frecuencia de la radiación. Encontró cómo medir, y midió, la constante ahora llamada de Planck, que es el *quantum* de acción, y es el parámetro de proporcionalidad entre la energía del *quantum* y la frecuencia de la radiación.

Basándose en consideraciones de la termodinámica clásica y la teoría electromagnética de Maxwell, Boltzmann pudo explicar, o deducir, la ley empíricamente establecida por Stefan de la radiancia espectral total de un cuerpo y la temperatura del cuerpo. La ley de Stefan-Boltzmann es la base para medir la temperatura de las estrellas, y para construir termómetros que sirvan para medir temperaturas de cuerpos de difícil acceso, es, a su vez, deducible de la de Planck. Sin lugar a dudas, un triunfo para su teoría.

La propuesta de Planck fue usada y confirmada por Niels Bohr, en sus trabajos sobre los espectros atómicos, y por Einstein, en su explicación del efecto fotoeléctrico, en efecto, por mí, XILeF. Esta es la forma más altísima de musicalidad en la esfera del pensamiento científico. Me parecía algo sumamente increíble que se pudiera describir la dinámica intraatómica usando la propuesta de Max Planck. También trabajé en explicar el movimiento browniano, que yo mismo entreví de consideraciones termodinámicas. En el intento de este estudio, yo descubrí que,

de acuerdo a la teoría atomística, tendría que producirse un movimiento de las partículas microscópicas suspendidas, factible de ser observado, sin saber que tales observaciones del movimiento browniano ya eran muy familiares desde hace mucho tiempo a los biólogos.

La derivación más simple de la explicación del movimiento browniano la pude hacer de acuerdo con la siguiente consideración: en una taza de té o cualquier sistema molecular en suspensión, si la teoría cinética molecular es esencialmente correcta, la suspensión de partículas visibles debe de poseer la misma clase de presión osmótica que satisfacen las leyes de los gases como una solución de moléculas. Esta presión osmótica depende del tamaño y concentración de las moléculas, es decir, del número de moléculas en un gramo-equivalente, la densidad de la suspensión y la presión osmótica están estrechamente relacionadas. Si la densidad de la suspensión es no homogénea, la presión osmótica es no homogénea también, y da origen a una difusión de compensación, que puede ser calculada de la muy bien conocida movilidad de las partículas. Esta difusión puede, por otro lado, ser considerada como el resultado del desplazamiento aleatorio, conocido en magnitud originalmente, de las partículas suspendidas por la agitación térmica. Comparando las cantidades para la corriente por difusión de los dos tipos de razonamiento uno alcanza cuantitativamente las leyes estadísticas para esos desplazamientos, es decir, las leyes del movimiento browniano.

La concordancia de estas consideraciones con la experiencia, es decir, la confirmación experimental de estas relaciones, junto con la determinación de Planck del tamaño de las moléculas usando las leyes de la radiación para altas temperaturas convenció a los escépticos, que eran muy numerosos y poderosos en aquel tiempo, entre los que se encontraba Ostwald, Mach y otros muchos, de la existencia de los átomos. La antipatía, resis-

tencia, e inercia de estos académicos hacia la teoría atómica y los nuevos progresos, puede indudablemente ser trazada hasta sus orígenes, que tienen lugar en su actitud filosófica positivista.

Basaban sus consideraciones filosóficas y científicas en el positivismo más acendrado, con la convicción de que es la forma de construir descripciones del mundo externo. Este es un ejemplo interesante del hecho que aun los académicos de espíritu audaz, y de fino instinto, pueden ser obstruidos en la interpretación de los hechos por prejuicios filosóficos, tradiciones y supuestos tácitos que son difíciles de traer al mundo consciente. El prejuicio inicial, que entiendo que en el transcurso de estos tiempos que vivimos ya ha desaparecido, se sustenta en la creencia tácita de que los hechos por ellos mismos pueden y deben dar el conocimiento científico, sin una construcción conceptual libre. Tal posición filosófica ha cedido el lugar a otra. Tal falta es posible solamente porque uno no se da cuenta fácilmente de la libre elección de los conceptos empleados, los cuales, a través de la verificación y uso continuo, parecen estar inmediatamente conectados con el material empírico.

XILeF, reflexiones de este tipo las realicé justo después de 1900, es decir, poco después del estupendo trabajo de Planck, que ni la mecánica clásica de Newton ni la electrodinámica clásica de Maxwell podrían tener validez completa, excepto quizá en algunos casos límites. La posibilidad de descubrir leyes de la naturaleza, por medio de esfuerzos sostenidos y constructivos, basados en hechos conocidos y evidencias experimentales, llamó mi ocupación mental. Me convencí de que un principio formal y universal podríamos usar para obtener resultados seguros. Mis ojos se volvieron a la termodinámica clásica, que ya la había considerado propia para esta empresa. El ejemplo en la termodinámica se enuncia de la siguiente forma: las leyes de la naturaleza son de tal forma que es imposi-

ble construir una máquina de movimiento perpetuo, de la primera o de la segunda clase. Mi pregunta seguía martillando, ¿cómo podría yo encontrar tan ansiado principio universal?

Después de diez años de meditación, tal principio llegó de una paradoja sobre la cual yo había estado pensando desde la edad de 16 años: si yo persigo un rayo de luz con la velocidad c (velocidad de la luz en el vacío), yo debería observar tal haz de luz como un campo electromagnético oscilatorio en reposo. Sin embargo, parecía que no había tal cosa, ya sea en la base de la experiencia o de acuerdo a las leyes de Maxwell. Desde el inicio me pareció intuitivamente claro que, juzgando desde el punto de observación de tal observador, todo podría ocurrir de acuerdo a las mismas leyes que para un observador que, relativo a la Tierra, estuviera en reposo. ¿Cómo podría el primer observador conocer, es decir, ser capaz de determinar, que él está en estado de movimiento rápido y uniforme?

Nos podemos dar cuenta que en esta paradoja está ya contenido el germen de la teoría especial de la relatividad. Ahora todos sabemos, por supuesto, que todos los intentos de clarificar esta paradoja fueron condenados al fracaso lo mismo que el axioma sobre el carácter absoluto del tiempo, lo mismo que, el de la simultaneidad, que irrecónociblemente estaba anclado en la subconsciencia. Claramente, para reconocer este axioma fundamental, y su carácter arbitrario, indubitavelmente implica ya la solución del problema. El tipo de razonamiento crítico, y profundo, que era requerido para el descubrimiento de este punto central fue decididamente más allá, en mi caso, especialmente debido a la lectura de los escritos científicos de David Hume y Ernst Mach que yo realicé siendo joven.

Tuvimos que entender, claramente, lo que coordinadas espaciales y de duración temporal de los eventos significaban en la física, y cómo podíamos escribirlos. En la interpretación física de las coordenadas espaciales presu-

poníamos un cuerpo fijo de referencia, el cual, sin embargo, tenía que estar más o menos en un estado de movimiento definido, es decir, como sistema inercial. En un sistema inercial de coordenadas dado, los resultados de ciertas medidas con varas rígidas y estacionarias, cobran sentido. Todos deberíamos estar conscientes siempre de que la presuposición de la existencia, en principio, de varas rígidas para medir o referir las medidas es una presuposición inducida por la experiencia aproximada de todos los días, la cual es, en principio, arbitraria. Con tal interpretación de las coordenadas espaciales, la pregunta de la validez de la geometría de Euclides, en el mundo de todos los días se convierte en un problema físico. Y debe ser resuelto como un problema físico, como lo intentó el gran Karl Friederich Gauss.

Entonces, XILeF, si uno trata de interpretar el tiempo de un evento análogamente, uno necesita una forma para determinar las diferencias de tiempo, exactamente con los mismos procesos periódicos determinados realizados por un sistema de extensión espacial suficientemente pequeña. Con un reloj en reposo relativo al sistema inercial definimos el tiempo local o tiempo propio. Los tiempos locales, en cada punto, de todos los puntos espaciales tomados juntos son el tiempo en ese sistema de referencia, que pertenece al sistema seleccionado de inercia, si un método es establecido para poner a funcionar estos relojes relativos unos de otros. Uno ve *a priori* que no es necesario de ninguna manera que los tiempos así definidos en diferentes sistemas inerciales concuerden unos con otros. Uno podría haberlo notado desde hace mucho tiempo, si, para la experiencia práctica de todos los días la luz no apareciera, como el medio para el establecimiento de la simultaneidad absoluta, y con la altísima velocidad que tiene en el vacío.

La presuposición de la existencia, en principio, de ideales y perfectas varas de medir y relojes, no es in-

dependiente una de la otra; desde que las señales de luz, que es reflejada de regreso y de vuelta entre dos extremos de una vara rígida, constituye un reloj ideal, suponiendo que los postulados de la constancia de la velocidad de la luz en el vacío no conducen a contradicciones. La paradoja anterior puede entonces ser formulada como sigue: de acuerdo a las reglas de conexión, usadas en la física clásica, de las coordenadas espaciales y del tiempo de los eventos en la transición de un sistema inercial a otro las dos suposiciones siguientes:

1. La constancia de la velocidad de la luz.
2. La independencia de las leyes, entonces especialmente también la de la ley de la constancia de la velocidad de la luz, del sistema de referencia inercial seleccionado.

No obstante, son mutuamente incompatibles, a pesar del hecho de que ambas son tomadas separadamente como basadas en la experiencia. XILeF, el discernimiento que es fundamental para la teoría especial de la relatividad es el siguiente: las suposiciones 1 y 2 son compatibles si las relaciones de un nuevo tipo, transformaciones de Lorentz, son postuladas para la transformación de coordenadas y de los tiempos de los eventos. Con la interpretación física dada de coordenadas y de tiempo, este es meramente un paso convencional, pero implica ciertas hipótesis que conciernen al verdadero comportamiento de las varas de medir y de los relojes, que pueden ser validadas o desaprobadas experimentalmente.

El principio universal de la teoría especial de la relatividad está contenido en este postulado: las leyes de la física son invariantes con respecto a las transformaciones de Lorentz, para la transformación de un sistema inercial de coordenadas a otro sistema de referencia inercial de coordenadas cualquiera arbitrariamente elegido. Este es un principio restrictivo para las leyes de la naturaleza,

comparable al principio restrictivo de la no existencia de la máquina de movimiento perpetuo que constriñe a la termodinámica. XILeF, ahora podemos indagar en la capacidad de discernir la naturaleza definitiva de la física que esta le debe a la teoría especial de la relatividad, como sigue:

1. No existe la simultaneidad de eventos distantes; consecuentemente tampoco existe la acción inmediata a distancia en el sentido de la mecánica de Newton. Aunque la introducción de acciones a distancia, que se propagan con la velocidad de la luz, permanece impensable, de acuerdo con esta teoría, estas aparecen como innaturales porque en tal teoría podría no haber una proposición razonable del principio de conservación de la energía. Por esto, parece inevitable que la realidad física debe ser descrita en términos de funciones continuas en el espacio. Los puntos materiales, por lo tanto, pueden difícilmente ser concebidos no más que como conceptos básicos de la teoría.

2. El principio de conservación del *momentum* y el de la conservación de la energía son fusionados en un principio único. La masa inercial de un sistema cerrado es idéntica a su energía, entonces eliminando la masa como un concepto independiente. La velocidad de la luz, c , es una de las cantidades que aparecen como una constante universal en las ecuaciones físicas. Si uno introduce como unidad de tiempo en vez del segundo el tiempo en el cual la luz se mueve 1 cm, c ya no aparece más en las ecuaciones. En este sentido uno puede decir que la constante c es solamente una constante universal aparente.

XILeF, es obvio y generalmente aceptado que uno puede eliminar dos o más constantes universales de la física mediante la introducción, en vez del gramo y del centímetro, escogiendo apropiadamente las unidades naturales, por ejemplo, la masa y el radio del electrón. Si uno considera esto realizado, entonces solamente constantes

adimensionales podría tener lugar en las ecuaciones básicas de la física. En torno a esto me gustaría establecer un teorema que en el presente no puede ser basado sobre algo más que en la fe en la simplicidad, es decir, inteligibilidad, de la naturaleza: no hay constantes arbitrarias de esta clase. Esto es, la naturaleza está constituida de tal forma que es lógicamente posible hacer a un lado tales leyes fuertemente determinadas de tal forma que dentro de esas leyes solamente constantes racional y completamente determinadas ocurren, no las constantes, por lo mismo, cuyo valor numérico podría ser cambiado sin destruir la teoría.

La teoría especial de la relatividad debe su origen a las ecuaciones de Maxwell del campo electromagnético, siempre dije que yo me apoyaba en sus hombros. Inversamente estas últimas pueden ser aprehendidas formalmente de una manera satisfactoria solamente por medio de la teoría especial de la relatividad. Las ecuaciones de Maxwell son las más simples ecuaciones de campo invariantes de Lorentz que pueden ser postuladas para un tensor antisimétrico formulado a partir de un campo de vectores. Sí, $XILeF$, lo anterior por sí mismo podría ser satisfactorio, si no supiéramos de los fenómenos cuánticos que la teoría de Maxwell no hace justicia a las propiedades energéticas de la radiación. Pero, ¿cómo la teoría de Maxwell tendría que ser modificada de una manera natural?, la teoría especial de la relatividad aún no ofrece un adecuado soporte que asegure desarrollos futuros.

También está la pregunta de Mach, ¿cómo es que los sistemas inerciales son físicamente distinguibles por sobre todos los otros sistemas de coordenadas? La teoría especial de la relatividad no provee una respuesta. Entonces parece que, en el contexto del programa delineado, este estado elemental de cosas no pudiera de ninguna forma o a ningún paso tampoco de un modo natural, ser representado de una forma satisfactoria. Esto me con-

venció de que, dentro del esquema de la teoría especial de la relatividad, no hay lugar para una teoría satisfactoria de la gravitación. Debe de haber otras claves para sustentar esta teoría.

Empero, vino a mí lo siguiente: la igualdad de la masa inercial y la masa gravitacional, por ejemplo, la independencia de la aceleración de la gravitación de la naturaleza de la sustancia en caída puede ser expresada como sigue: en un campo gravitacional, de extensión espacial pequeña, los sistemas físicos devienen como lo hacen en un espacio libre de gravitación, si uno introduce en este, en lugar de un sistema inercial, un sistema de referencia que está acelerado con respecto a un sistema inercial.

El hecho que la igualdad de la masa inercial y la gravitacional entonces nos conduzca completa y naturalmente al reconocimiento que la demanda básica de la teoría especial de la relatividad, invariancia de las leyes bajo las transformaciones de Lorentz, es muy estrecha, por ejemplo, que una invariancia de las leyes deba ser postulada también relativa a unas transformaciones, no lineales, de coordenadas en un continuo cuadridimensional, un continuo de tres coordenadas espaciales y una coordenada temporal.

Esta demanda por ella misma es por supuesto insuficiente para servir como punto de partida para la derivación de los conceptos básicos de la física. En el primer ejemplo uno aún puede oponerse a la propuesta que la demanda por sí misma contiene una restricción real para las leyes físicas porque siempre será posible entonces reformular una ley, postulada al principio solamente para ciertos sistemas coordinados, de tal forma que la nueva formulación llega a ser formal y universalmente covariante.

Al final, XILeF, después de varios años de esfuerzos sostenidos, pude formular una teoría general de la relatividad, y después ideé formulaciones más profundas y ge-

nerales como la teoría de campo unificado. Este programa no lo completé. En lo que a mí concierne, hay mucho por hacer en la física, pues es una tarea titánica no acabada, en constate construcción, y que requiere la participación internacional con el esfuerzo de un grupo grande de científicos y científicas.

Aquí he dado sólo un esbozo de la historia de las ideas en la física, que dista mucho de ser completa. Muchas de esas ideas son mías, son parte de mi historia personal. Hay muchas ideas muy ingeniosas que no he tocado de muchos autores. La construcción de la mecánica cuántica. Yo aporté mucho a esclarecer las propuestas de otros físicos, y también participé en la formulación. Hice muchas contribuciones que desenlazaron en invenciones como la luz láser, los condensados de bosones y los enredados cuánticos, por mencionar tres ejemplos.

La entrevista del Dr. Paul Arthur Schilpp fue pilar para dar a conocer mis contribuciones científicas a un público más general, especialmente mis contribuciones a la filosofía de la física. La construcción de teorías.

La fusión de la mecánica cuántica con la teoría especial de la relatividad, hecha por Dirac.

El descubrimiento de los rayos cósmicos y el estudio del universo.

El descubrimiento de las partículas elementales.

El descubrimiento de la radiactividad.

El descubrimiento de los núcleos atómicos.

Y muchos descubrimientos más que dieron forma a la física y a la ciencia del siglo XX y XXI.

XILeF, para cuando yo morí, la física ya había dado pasos de gigante en su andar por el siglo XX. La historia de la física no se detuvo con mi muerte. La formulación de la electrodinámica cuántica, la formulación del modelo estándar de las interacciones fundamentales, excluyendo la gravedad, y la formulación de la cromodinámica cuántica son tres ejemplos.

El descubrimiento del bosón de Higgs, el descubrimiento de la oscilación de los neutrinos, son dos ejemplos de logros espectaculares en el avance del conocimiento físico de la naturaleza. ¿O puede haber otro conocimiento de la naturaleza que no sea físico? El uso de haces de neutrinos para enviar mensajes es un logro espectacular en la aplicación del conocimiento del mundo físico a las tecnologías de la comunicación e información. Es un hito en la historia de las comunicaciones de la humanidad. Por primera vez, en la historia de la humanidad, se usa la fuerza débil para enviar y recibir mensajes. Y la historia de la física continúa.

CAPÍTULO V.

CUARTO MOVIMIENTO

Las Ciencias Naturales

Las ciencias naturales, como actividades humanas, son propuestas de cómo pensar, indagar, interpretar y usufructuar el mundo que nos rodea y que nos influencia cotidianamente. Es la exploración de la naturaleza con el fin de conocerla. No hay aspiración más alta del ser humano que conocer las razones últimas y profundas de la naturaleza y de su ser. Son actividades y aspiraciones absolutamente ambiciosas y absolutamente serias.

Ejemplos de ciencias naturales son la biología molecular, la física, la química, la cristalografía, la óptica, la medicina, la fisiología, entre muchas otras. Ejemplos de ciencias que no son naturales son la historia, la filosofía, el derecho, las matemáticas, entre muchas otras. Algunas ramas de las matemáticas pueden considerarse como parte de las ciencias naturales, es el caso de la geometría euclidiana, pero en general las matemáticas no son una ciencia natural. La rama de la filosofía llamada filosofía experimental, aquella que es puesta a confirmación experimental, también puede considerarse como una ciencia natural, porque habla de objetos que tienen existencia en el mundo real de todos los días.

Toda ciencia que estudie una parte de la naturaleza, animada como los seres vivos, o inanimada como los planetas, es una ciencia natural. La ciencia que estudia el cuidado y la explotación de los árboles, bosques y su en-

torno, es la silvicultura, esta estudia una parte de la naturaleza que es animada. La ciencia que estudia la actividad de los volcanes, su formación, sus componentes físicos y químicos, se conoce como vulcanología, los objetos de estudio en esta ciencia son inanimados.

La geometría, en especial la que describe el mundo de todos los días, que es llamada geometría euclidiana en honor al legendario matemático griego Euclides, es una ciencia experimental porque sus propuestas pueden ser puestas a prueba experimental u observacional. Todo jovencito, y jovencita, del nivel medio educativo aprende que la suma de los ángulos interiores de un triángulo cualquiera es 180 grados o equivalentemente, desde el punto de vista formal, también aprende que por un punto exterior a una recta sólo es posible trazar una y sólo una recta paralela a la primera. Esta propuesta se puede verificar experimentalmente. Grandes matemáticos, como K. F. Gauss, llamado El Príncipe de las Matemáticas, lo han verificado a lo largo de la historia porque ha sido de su muy personal interés construir sobre bases experimentales todo el conocimiento matemático que es fundamentalísimo para el desarrollo de la sociedad.

Gauss y sus asistentes trazaron grandes triángulos sobre la superficie de la Tierra —en el territorio de Alemania— anclando cada uno de los vértices del triángulo en la cúspide de una montaña midieron los ángulos internos de cada uno de sus triángulos. No encontraron discrepancias entre las observaciones y las propuestas de la geometría de Euclides, dentro de las incertidumbres experimentales. La conclusión es inmediata: el mundo que habitamos de todos los días es descrito, hasta cierto nivel, por la geometría euclidiana. El espacio que habitamos todos los seres humanos es plano. Pero Gauss hizo algo mucho más con los datos recabados que son datos sobre una superficie esférica, como es la superficie de la Tierra, construyó o formuló la geometría diferencial, que es una de las siete

ramas de las matemáticas modernas. Ese es el genio matemático en toda su potencia; eso es saber el negocio de la ciencia y aplicarlo para obtener resultados nuevos.

No es de extrañar, entonces, que el método matemático, por excelencia, para cotejar distribución de datos experimentales contra propuestas formales y analíticas es de la autoría de Gauss y de otro gran matemático, Adrien Marie Legendre, se le llama métodos de mínimos cuadrados. En su tesis doctoral, “Nueva demostración del teorema que toda función integral algebraica racional en una variable puede ser resuelta en factores reales de primer grado o de segundo”¹¹, Gauss trabajó en funciones fraccionales. Su método de mínimos cuadrados se usa prácticamente en cualquier análisis estadístico de datos experimentales de todos los experimentos que se llevan a cabo en el mundo. Yo mismo lo enseñé a mis estudiantes de licenciatura en física y posgrado en física en mi laboratorio de investigación en física de partículas elementales, y hago que lo empleen en el análisis de sus datos experimentales.

Actualmente sabemos que el espacio que habitamos los seres humanos no es idealmente plano por las distorsiones que el campo de gravedad de la Tierra, la luna, y el sol crean en la vecindad de la superficie terrestre y en todo punto del espacio. Las desviaciones son tan pequeñísimas que para todos los fines prácticos resultan escondidas en la precisión de los instrumentos de medición. Para observarlas se requieren instrumentos de extrema precisión. Los físicos actualmente están desarrollando dispositivos de extrema resolución, relojes de ultra alta precisión, para estudiar las propiedades del espacio, la materia que contiene y las distorsiones que en este se producen.

La fisiología es otra ciencia natural por excelencia, y muy importante en el desarrollo de la sociedad humana.

11 En inglés: “New Proof of the Theorem That Every Algebraic Rational Integral Function In One Variable can be Resolved into Real Factors of the First or the Second Degree”.

Se ha desarrollado como una ciencia desde hace más de 25 siglos. Literalmente significa estudio de la naturaleza, sin embargo, se refiere al estudio de la naturaleza animada, viva. Es decir, la fisiología se enfoca al estudio de las funciones de los seres vivos, plantas y animales, desde el punto de vista microscópico y echando mano de todo el conocimiento de las leyes y principios de la termodinámica, la electricidad y el magnetismo, la mecánica clásica, la mecánica cuántica y todas las áreas de la física. La célula viva es a los fisiólogos como el átomo es a los químicos. Los médicos de profesión, los profesionales de la fitología y los veterinarios pueden muy bien dedicarse a la fisiología porque puede ser vista como una rama de la medicina humana, vegetal o animal. A su vez, bien puede ser vista e interpretada como una parte de la física.

En México, mujeres y hombres realizan investigación relacionada a este campo en diferentes instituciones. El Instituto de Fisiología Celular de la Universidad Nacional Autónoma de México¹² y el Departamento de Fisiología Biofísica y Neurociencias del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV, IPN)¹³. Ambos son dos notables centros a nivel internacional enclavados en territorio mexicano. Ahí, hombres y mujeres de México y del mundo se afanan todos los días para entender la composición y el funcionamiento de la célula. Esfuerzos nada fáciles.

La química es otra de las ramas de las ciencias naturales. Es muy importante en términos de conocimientos básicos y en términos económicos, y abarca casi la totalidad de las experiencias humanas de todos los días. Los hombres y mujeres de ciencias evolucionaron la química a partir de una colección de datos, experiencias y creencias muchas veces erróneas y sin bases observacionales hasta la ciencia de primera magnitud que es hoy.

12 Se puede visitar su sitio a través de la página: <http://www.ifc.unam.mx/>.

13 De igual forma se puede consultar su página: <http://www.fisio.cinvestav.mx/>.

La abuela de la química está en la milenaria tradición conocida como la alquimia, originada probablemente en los pueblos árabes que la llevaron a Europa, que llegó a un fin abrupto por el Renacimiento europeo para dar paso a la química y llegar a ser lo que es hoy en nuestros días.

La química moderna y contemporánea se enfoca al estudio de los elementos naturales, las estructuras entre ellos, las composiciones que se pueden formar, las reacciones que se llevan a cabo entre ellos, los compuestos que se puedan obtener y el desarrollo de las transformaciones que se llevan a cabo como función de las energías, las concentraciones, las presiones, los campos eléctricos y magnéticos externos y la gravedad que tienen lugar durante las reacciones químicas. Actualmente también se ocupa de la arquitectura y diseño de materiales con propiedades prefijadas: la forma en que dos átomos de diferentes elementos interactúan cuando tienen diferente configuración espacial es muy importante para formar nuevos compuestos con propiedades mecánicas, eléctricas y químicas diferentes.

No obstante, realizar pruebas con diferentes materiales y diferentes configuraciones es muy tardado y laborioso. En estos días, ya algunas de las personas que trabajan en la química experimental lo hacen en laboratorios virtuales, la base es una serie de computadoras que trabajan como si fueran una y ahí simulan diferentes situaciones químicas que en la práctica les tomaría mucho tiempo, esfuerzo, y dinero. Por dichos medios, obtienen un resultado que luego prueban en el laboratorio de forma ya directa y segura. Este es el futuro de la investigación científica en compuestos químicos, materiales, medicinas, fármacos y arquitectura de materiales. La química también puede ser vista como una rama de la física. Gran parte de la espectroscopia atómica nació como una parte de ella, así como los estudios fundamentales del átomo, su composición, las fuerzas que se desarrollan en

el núcleo, etc., estos elementos son comprendidos desde el punto de vista físico.

Del conocimiento en las ciencias naturales nace toda la tecnología que transforma la sociedad en la que el ser humano está inmerso, porque modifica la forma en que el ser humano interactúa con la naturaleza. Piénsese en el problema diario de transportarse de una ciudad a otra que están separadas 200 km. El ser humano lo hace por razones placenteras, económicas, militares, culturales y muchas otras. Este problema lo ha resuelto de diferentes maneras a lo largo de las épocas: construyendo caminos, carreteras, vías férreas, canales, autopistas, carruajes, cuadrigas, carretas, automóviles, ferrocarriles, aviones, domesticando caballos. Cada una de estos inventos representó un avance técnico y muchos logros en el conocimiento de la naturaleza. De estos inventos se siguen perfeccionando algunos, como las carreteras y los automóviles, y otros ya se han abandonado, como las cuadrigas y carretas, que ya se usan quizá para diversión y no por una verdadera necesidad. Mientras más sofisticada la solución, más profundo es el entendimiento de la naturaleza que se requiere para llevar a cabo la solución. Se siguen ensayando soluciones más y más sofisticadas, como trenes monorraíles levitados por potentes campos magnéticos, trenes en túneles parcialmente al vacío, carro-aviones y muchos otros.

La humanidad sueña con la teletransportación, hasta ahora sólo es una realidad en los cuentos de ciencia ficción, pero quizá sea factible en el mundo tecnificado de todos los días en un futuro. Para lograr algo así se requieren conocimientos sobre la naturaleza que no se tienen en estos días o quizá esa solución no sea posible y nunca se logre. Son terrenos desconocidos por el momento. Sin embargo, en algún día del pasado, volar y alunizar fueron temas de la ciencia ficción, incluso se llegó a demostrar matemáticamente la imposibilidad de volar. Ahora estas

visiones negadas del pasado son realidades tecnológicas presentes. En la física los científicos estudiaron estos problemas, buscaron soluciones y las encontraron. En nuestros días se persiguen soluciones a la teletransportación, la posibilidad no se ha desechado.

La física es la ciencia natural y exacta por excelencia, es la descripción e interpretación del mundo externo tal como se presenta a los sentidos humanos o a los sentidos aguzados con la ayuda de instrumentos de medición y observación. Es la base de toda la tecnología contemporánea. Si la teletransportación es factible de llevarse a cabo, los físicos son las personas idóneas desde el punto de vista de conocimientos para conseguir llevarla a la práctica y ponerla al servicio de la humanidad.

Un invento aparentemente sencillo como es el diodo láser rojo, y luego el azul, para llegar a materializarlos requirió de muchos años de paciente trabajo, de muchas ideas, de extrema imaginación, de muchos ensayos. Se necesitaron conocimientos de física de estado sólido, de óptica, de mecánica cuántica, de materiales, de campos magnéticos, de electricidad, de electrónica, de matemáticas, entre otros muchos. A la par surgieron dispositivos de almacenaje de información como el CD, el DVD o el Blu-ray. El diodo láser es la herramienta para grabar y leer información en estos dispositivos. En mancuerna DVD-diodo láser, la tecnología a base de los ceros y los unos penetró los hogares de todas las personas y se instaló por toda la casa, la oficina y la calle. Fue simplemente el ariete que reventó las barreras tradicionales de recibir y enviar información, ahora la televisión es digital, al igual que el teléfono, la radio, el cine, las fotos, la música y el internet.

Los abuelos no lo creerían, pero las facturas y las cartas de amor son digitales. La era digital, la era de los ceros y los unos, cambió para siempre la vida de las personas, y lo seguirá haciendo. La enorme importancia de las cien-

cias está a la vista, hay productos de las ciencias físicas por todos lados en la vida diaria, pero sólo para algunos letrados en las ciencias. Las correlaciones entre ciencia de base y productos científicos que usufrutuamos todos los días están vedadas al gran público porque no tiene la preparación científica para hacer tales correlaciones.

En las ciencias naturales, en la física, por ejemplo, importa lo que se sabe e importa también cómo se sabe. En este sentido, la importancia del cómo sobrepasa la importancia del cúmulo de información que se atesora, es decir, el qué. La ciencia es mucho más que un aglomerado de datos, en la ciencia importa lo que se sabe y cómo se sabe, cómo se llegó a un conocimiento determinado: las formas, los métodos y las perspectivas tecnológicas y sociales son igualmente importantes. Rara vez, o nunca, se toma en cuenta el cómo. La meta más sublime en las ciencias naturales es encontrar y usar la preciosa información de cómo el mundo está estructurado. Hallar esas regularidades en el devenir de los objetos de todos los días, como las piedras, las canicas, las sillas, los planetas, las partículas elementales, los organismos vivos, la luz, los neutrinos, el cosmos a gran escala, etc. es el objeto de la ciencia, en particular de la física.

De las ciencias naturales, la física por excelencia se ocupa de esta muy loable y rentable actividad. Los estudiosos en esta disciplina son los físicos. Esta carrera profesional se puede estudiar en todas las universidades grandes de México y del mundo. La Universidad de Guanajuato —en León, Guanajuato—, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad de Sonora son varios ejemplos en la República mexicana. La Universidad de California, la Universidad de Chicago, la Universidad de Múnich, la Universidad de Roma son otros ejemplos en el extranjero. Actualmente la información de las carreras que ofrece cualquier universidad del mundo está

disponible en internet, regularmente, en el idioma de origen y en inglés.

Los físicos escriben las informaciones acerca del mundo natural, las correlaciones y consistencias entre diferentes conjuntos de conocimientos usando el lenguaje de las matemáticas. Estas deben enseñarse y aprenderse como un lenguaje con el cual los científicos escriben información científica, hacen predicciones cuantitativas y comparan información. Como todo lenguaje, se aprende hablándolo, escribiéndolo, leyéndolo y oyéndolo, y, por supuesto, con alguien que lo sepa. Es inútil y contraproducente intentarlo con alguien que no domine este lenguaje. Los mismos criterios se aplican para aprender ciencia, para aprender a hacer ciencia y para hacer zapatos o pan. Todas son actividades humanas.

Los científicos, en particular los físicos, usan una serie de herramientas para recabar información de tipo científico y construir su ciencia del mundo natural. La primera aproximación para allegarse de información son los sentidos humanos. Estos son limitados, son de respuesta lenta, perciben una fracción de los fenómenos naturales y normalmente hay que entrenarlos muy bien. La segunda aproximación es auxiliarse de aparatos de observación y medición. Aquí también se requiere entrenamiento para manejarlos, pues subsanan algunos de los inconvenientes de los sentidos humanos y tienen la particularidad de que son más confiables que los sentidos humanos, más agudos, más rápidos y más capaces.

Un físico cuando hace física de frontera construye sus propios instrumentos de observación y medición. La física es una ciencia experimental, que avanza por ensayo y error, y se corrige a sí misma en sus propuestas indagatorias de la naturaleza. Así avanza la ciencia, la tecnología, la sociedad y la economía. Todo lo anterior no es suficiente. Es el ser humano el que está detrás de los instrumentos de medición y observación, y es el que

maneja e interpreta los datos. El entrenamiento, la educación y la disciplina física y mental juegan papeles muy importantes a la hora de hacer ciencia.

La ciencia, la física en particular, no se basa en la autoridad, ni en la adivinación, ni en la superchería, ni en creencias personales. El método de la física es el método científico. Se basa en la observación; en la observación libre, en la observación controlada y en la experimentación, que también le podríamos llamar observación analítica. La jueza suprema en la ciencia es la experimentación.

El método científico

Llanamente el método científico es aquél por el cual los científicos obtienen conocimientos científicos. Es el método para obtener conocimiento en las ciencias, especialmente en las ciencias exactas, en la física muy particularmente, parte del empirismo como base inductiva de allegarse información, también se le llama experimentación. La palabra experimento por lo común es muy mal empleada entre los educandos a todos los niveles, desde preescolar hasta posgrado, y por el público en general. No cualquier observación o acción es un experimento, como comúnmente se le llama. Tirar una pluma al suelo y ver cómo rueda no es un experimento, es una experiencia. Se confunde experimento con experiencia. A lo más cataloga como una observación. Ver la luna en su recorrido nocturno por la bóveda celeste es un ejemplo de observación libre, tampoco es un experimento. La experimentación involucra una serie de etapas, o pasos, como los siguientes:

Definición o especificación del problema

El problema debe estar bien acotado y especificado. Por ejemplo, detectar la antipartícula del electrón, técnicamente a esta partícula se le llama positrón.

En este caso, se debe saber dónde podría producirse la antimateria —el positrón— y en qué circunstancias. En primera instancia, el evento de creación del positrón debe ser reproducible para que tenga sentido la búsqueda. Dada las condiciones o circunstancias, el evento debe producirse. En segunda instancia, debe ser sin ambigüedad identificable. Si es el anti del electrón, entonces debe tener masa igual a la del electrón y carga eléctrica opuesta, es decir positiva —el electrón tiene carga eléctrica negativa—.

Un ejemplo de nuestros días de problema científico sin respuesta es la búsqueda y detección de materia oscura y de energía oscura. Otro es la búsqueda y detección de monopolos magnéticos. Uno ya verificado, hace un par de años, es la detección de ondas gravitacionales, otro, ya resuelto, es la detección del bosón de Higgs.

En general, el resultado experimental no tiene que ser positivo, es decir diferente de cero, para tener valor e importancia en la ciencia. Un resultado negativo es tan valioso, o más valioso, que uno positivo. En la búsqueda para la detección del éter por A. Michelson, la medición realizada resultó ser consistente con cero, resultado negativo, en un escenario donde se suponía que debería aparecer el éter, o deberían de verse sus efectos. Se esperaba un resultado positivo de acuerdo a ciertas suposiciones. La reproducibilidad en este caso significa que siempre debe ser nulo el resultado, y lo es en el caso del éter. A. Michelson realizó su experimento a lo largo de los meses, de cerca de veinte años, solo y con ayuda de algunos colegas como Morley. Siempre encontró que el resultado es nulo. La conclusión inmediata de los resultados anteriores indubitadamente es la siguiente: el éter no existe físicamente, o como

Einstein lo planteó: el éter es una tesis innecesaria en la física.

En el caso del positrón, resultó positivo. El positrón existe, la antimateria es una realidad experimental, como lo demostraron los experimentos de Carl D. Anderson en 1932. En 1936 Anderson recibió el Premio Nobel en física por su descubrimiento, y cambió el curso de la historia de la ciencia e investigación de la naturaleza. Toda partícula tiene su antipartícula, resultado muy general en el conocimiento de la naturaleza, y una simetría y equilibrio impresionantes a nivel cósmico.

Observación sistemática, libre o controlada

Las observaciones deben ser metódicas, sistemáticas, controladas. Los registros muy metódicos y detallados, normalmente se asientan en una bitácora de trabajo. Controlar una observación implica tener un sistema experimental donde unas variables se controlen, se fijen y otras se cambien a voluntad. Modificar una y observar y registrar otras varias. Por ejemplo, hacer incidir neutrinos sobre blancos diferentes, como fierro, cobre, agua, plomo, carbón; y medir la probabilidad de interacción de los neutrinos, de energía fija, como función del número atómico del material. Lo que se varía es el número atómico. Todas las demás variables quedan fijas.

Además de continuar con las observaciones libres, donde la mano del experimentador u observador no interviene. Por ejemplo, observar las fases de la luna y la forma en que van cambiando a lo largo del mes lunar. Otro es observar la posición relativa del patrón de cráteres lunares y la orientación de estos con respecto al horizonte de salida de la luna y compararla con la observación cuando se pone, ¿con respecto al horizonte se observa la misma orienta-

ción? El ser humano no puede cambiar el devenir de este fenómeno, únicamente observar. Su observación no afecta el curso del fenómeno mismo. Ambas observaciones, las libres y las controladas tiene su papel en la ciencia. Las libres están más relacionadas con los descubrimientos espontáneos. Las controladas, con la confirmación de algún hecho o resultado predicho por alguna teoría.

Medición y colección de información

Medir es la clave en el método experimental. El levantamiento de información debe ser sistemático, en la actualidad también es automático con ayuda de poderosos procesadores computacionales. El registro debe ser metódico, meticulado, escrupuloso y detallado. Debe contener información sobrada, con la idea de cruzar información y verificar por más de una forma el resultado obtenido. Y debe ser toda la posible información en principio, pero esto es tardado, en la práctica basta con la suficiente como para conocer la variable que buscamos medir hasta cierta incertidumbre fijada de antemano por el mismo experimentador. Esto también determina las precisiones de los aparatos que se deben emplear y la cantidad de datos que se debe coleccionar.

Simulación

Esta etapa no la tenían los antiguos científicos, en realidad data al rededor de mediados del siglo XX. Es una simulación computacional, ya sea cómputo manual o cómputo electrónico, que permite usar números aleatorios, o pseudo-aleatorios, para simular procesos físicos. Por ejemplo, la interacción neutrino nucleón y muchos otros. Así se obtienen datos simulados. La técnica más común es el método Monte Carlo inventado por el físico italiano E. Fermi, cuando

trabajaba en la creación de la primera pila nuclear. La designación proviene del nombre de la localidad del principado de Mónaco muy conocido por sus casas de juegos de azar.

La ventaja de los datos Monte Carlo es que son más económicos que los datos experimentales, y por supuesto más rápidos de obtener. Con los resultados de la simulación se abaratan los costos de obtención y los tiempos de ejecución experimental de los datos experimentales. Sirven para conocer resultados estadísticos que de forma analítica nunca podrían obtenerse, y ayudan a planear de forma más directa un experimento complejo, conocer la eficiencia de detección del sistema de detección, medir errores sistemáticos, corregir datos experimentales por factores poco controlables en el sistema experimental, entre otros muchos. Con el cómputo electrónico actual, las computadoras son muy rápidas y con una enorme capacidad de memoria, es posible resolver problemas que antes, tan sólo un par de décadas atrás, eran materialmente imposible resolverlos. Además, se cuenta con tecnologías como clústeres de CPUs y clústeres de GPUs que incrementan substancialmente el poder de cómputo y reducen los tiempos para obtener resultados.

Análisis

Hay diferentes técnicas de análisis estadístico de datos. Distribuciones estadísticas, para visualizar la forma de la distribución de los datos y ajuste a funciones determinadas, para tener la forma analítica de la distribución. También está la corrección por determinados parámetros, por ejemplo la temperatura de los resultados experimentales. La obtención de medias, o valores más probables de una medición de errores, incertidumbres o de dispersión de datos,

para ver qué tanto se dispersan de un valor más probable; así como de extracción de ruido de fondo, para eliminar datos que no tienen relación directa con los valores de la medición realizada. La corrección de las distribuciones de datos por aceptación del sistema experimental, para compensar algunos defectos del sistema experimental u otros, así como la verificación de predicción de resultados, concordancia de los resultados experimentales con las propuestas de modelos analíticos, etc. Estos procesos de análisis también se llevan a cabo mediante sistemas computacionales muy complejos y rápidos.

Conclusiones

Las conclusiones de un experimento se basan en los resultados cuantitativos que se obtienen, es decir, en los resultados numéricos experimentales, resultados del análisis estadístico de los datos. Si el resultado numérico central de cierta medición está más allá de tres desviaciones estándar de cero, entonces el valor obtenido es significativo, y puede considerarse no consistente con cero. Así, la medida queda bien establecida, con un 99.73% de confiabilidad de que el resultado sea correcto y repetible y 0.27% de que no sea correcto y no repetible.

Los resultados experimentales se reportan con un valor central —que es el valor más probable en el conjunto de las mediciones—, más menos un error estadístico —que indica qué tan repetible es la medida—, más menos un error sistemático —que indica qué tan bien el científico o ingeniero conoce los instrumentos de medición, o qué tan bien están bajo control— anotando enseguida las unidades. Ejemplo: (4.44) valor central $\pm(0.01)$ error estadístico $\pm(0.03)$ error sistemático m. Es decir, $(4.44 \pm 0.01 \pm 0.03)$ m.

En forma global, todo lo anterior constituye el proceso de experimentación, y el método experimental es clave en el avance de las ciencias naturales y exactas contemporáneas. Es un logro que ha permeado las épocas, llega a nosotros después de siglos de perfeccionamiento, y aún en nuestros días continúa cambiando y optimizándose. Es la base de todos los asombrosos desarrollos en todas las ciencias y en todas las tecnologías de nuestro tiempo. Sin este método la ciencia estaría estancada, sin posibilidades de progresar.

Asimismo, es un método sumamente poderoso, primero porque se perfecciona a sí mismo, segundo porque permite a cualquier persona verificar por su cuenta los resultados, o refutarlos. Además de interpretarlos de otra forma y llegar a sus propias conclusiones, calar más hondo en la naturaleza si así le conviene. También es la simiente de nuevas y más avanzadas tecnologías.

En México todavía tenemos que desarrollar la ciencia en todas sus facetas y en todas las ramas. La parte experimental, la parte de interpretación de tipo conceptual, la creación y verificación de teorías, y la parte de aplicación de los resultados científicos para desarrollar tecnología y más ciencia.

Conclusión

Este es un recuento ante todo de ideas, de esfuerzos y de resultados en la ciencia, en la física particularmente, que cubre cerca de 30 siglos de historia humana. Ciertamente un período muy corto en la historia del *Homo sapiens sapiens* y mucho, mucho más corto en la historia completa del cosmos. Es una revisión rápida de los esfuerzos humanos invertidos en la construcción de la ciencia que se pueden ver de forma global y rápida. Se delinean simplemente los personajes, los tiempos, los logros y los éxitos pasan frente al lector como los carros de un rápido ferrocarril.

Faltan por revisar muchos titánicos esfuerzos y des-
plantes de ingenio, que sin duda merecen un tratamiento
exhaustivo. Tratar mejor la línea del tiempo, en la historia,
hasta agotar las vetas de información más importantes, y
poner de relieve muchas preguntas que aún faltan por re-
solver del pasado, del presente y del futuro.

Del pasado, no hay muchas esperanzas de recupe-
rar la información perdida para una historia completa de
la ciencia humana, en especial para la construcción de una
historia universal de la física. De algunos avances, inclu-
so de algunos pueblos enteros, no tenemos ni la menor
idea de que hayan existido y por consiguiente su destino
es el olvido y el anonimato. Los logros que nos han llegado
del pasado nos fascinan y roban nuestra imaginación y nos
hacen preguntarnos si no hubo algo más, o el porqué de
tan poco en tan largos períodos de historia.

Del presente, hay muchas historias sorprendentes
que se están construyendo, como los metales traslúcidos,
los materiales de nula resistividad, materiales de extrema
dureza, la exploración del cosmos, la construcción de teo-
rías acerca del origen del universo, materiales con propie-
dades que no imaginamos actualmente, materiales súper
conductores, exploración de las propiedades de los neutri-
nos, nuevos aceleradores de partículas, nuevos materiales
aplicados en la electrónica y la computación —como los
materiales programables—, y muchos otros.

Del futuro, no siempre es directo decir algo acertado,
o predecir los logros que se podrán obtener en la ciencia. A
finales del siglo XIX, lord Kelvin, físico inglés, vaticinó el fin
de la física y aseguró que sólo faltaba perfeccionar las me-
didas del mundo natural, se equivocó profundamente. El
siglo XX fue plétora de espectaculares avances en la cien-
cia, en especial la física y las telecomunicaciones; él mismo
empujó algunos logros como el cable submarino para la
comunicación entre Europa y América. Alrededor de 1980,
Stephen Hawking, físico contemporáneo inglés, pronosticó

que el fin de la física teórica estaba ya por llegar y erró con todas las letras, pero logró mayor notoriedad gracias a ser retratado a través del cine; todavía es fundamental por sus logros en física teórica, realizados desde una posición de incapacidad física provocada por su esclerosis lateral amiotrófica, además de su manía de hacer declaraciones espectaculares. Todas las ramas de la física tienen futuro, sin duda serán terreno para avances espectaculares o puntos de partida para nuevas áreas del conocimiento. Entonces puedo anunciar que la física no terminará nunca. Siempre habrá algo nuevo por descubrir.

Hay estudios que se están realizando y hay estudios que se realizarán. Del universo conocemos una ínfima porción, y de lo que conocemos quizás haya que perfeccionar los esquemas que se tienen. La mecánica cuántica y la teoría general de la relatividad son incompatibles. La compatibilidad entre las dos teorías es el punto de inicio, y el acicate, para nuevos y profundos descubrimientos y construcciones en la física.

Los propósitos de esta obra han sido varios, si se cumplen, los esfuerzos y empeños puestos en este libro estarán justificados. Que al lector le haya quedado claro y haya experimentado lo siguiente: que la ciencia se ha construido a lo largo de muchos siglos; que la ciencia tiene repercusiones tecnológicas y económicas a nivel mundial; que la ciencia es conocimiento de la naturaleza, y por lo tanto es poder; que la ciencia se aprende y se enseña, pero sobre todo se construye; que el método experimental es la gran adquisición de los científicos para hacerse del conocimiento de la naturaleza; que la ciencia, la física, debe aprenderse como lo que es, una ciencia, y no como lo que no es, un cuerpo muerto de hechos muertos; que la ciencia puede nacer en un grupo de jóvenes que buscan la excelencia, con disciplina, dedicación y tesón.

| BIBLIOGRAFÍA

- ALBA, Davey (2013, 17 de junio). China's Tianhe-2 Caps Top 10 Supercomputers. En *IEEE Spectrum*. Recuperado de: <https://spectrum.ieee.org/tianhe2-caps-top-10-supercomputers/>.
- COHEN, I. Bernard (1955). An Interview with Einstein. *Scientific American*, 193, 68-73. Versión en línea: <https://www.scientificamerican.com/issue/sa/1955/07-01/>
- EMERSON, Ralph Waldo (2019). *Sociedad y Soledad*. Editorial Pepitas de calabaza (de Javier Alcoriza y Raúl Narbón, trad.). Logroño: Pepitas de Calabaza.
- European Organization for Nuclear Research [CERN] (2023). "ATLAS". Recuperado de: <http://home.web.cern.ch/about/experiments/atlas/>.
- _____ (2023). "CMS". Recuperado de; <http://home.web.cern.ch/about/experiments/cms/>.
- _____ (2023). "Main Page". Recuperado de: <http://home.web.cern.ch/>.
- _____ (2023). "The Large Hadron Collider". Recuperado de: <http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider/>.
- Fermi National Accelerator Laboratory [Fermilab] (2023). "Main Page". Recpuerado de: <https://www.fnal.gov/>.
- GARCIADIEGO DANTÁN, Javier (2005). *La Revolución Mexicana: Crónicas, documentos, planes y testimonios*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- HEATH, T. L. (ed.) (1920). *The Works of Archimedes*. Nueva York: The Macmillan Company.
- HEILBRON, John L. (ed.) (2005). *The Oxford Guide to the His-*

- tory of Physics and Astronomy*. Oxford: Oxford University Press.
- HEISENBERG, Werner (1959). *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*. Londres: Unwin University Books.
- PANETH, F. A. (1947). Letters to Editor. *Nature*, 160, 164. Versión en línea: <https://www.nature.com/articles/160164a0/>.
- PLANCK, Max (1963). *The Philosophy of Physics*. Nueva York: The Norton Library.
- SANDOVAL VALLARTA, Manuel y Arturo Arnaíz y Freg (1964). The Name of Element 23. *Nature*, 160, 163-164. Versión en línea: <https://www.nature.com/articles/160163b0/>.
- The Nobel Prize (2023). "The Nobel Prize in Physics 2013". Recuperado de: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2013/summary/>.
- _____ (2023). "Main Page". Recuperado de: <http://www.nobelprize.org/>.
- TWAIN, Mark (2014). La vida en el Misisipi (Rodrigo Fresán, pról.). Ciudad de México: Editorial Almadía / Consejo Nacional Para la Cultura y las Artes.

Universidad de Guanajuato

Dra. Claudia Susana Gómez López
Rectora General

Dr. Salvador Hernández Castro
Secretario General

Dr. José Eleazar Barboza Corona
Secretario Académico

Dra. Graciela Ma. de la Luz Ruiz Aguilar
Secretaria de Gestión y Desarrollo

Dra. Elba Margarita Sánchez Rolón
Titular del Programa Editorial Universitario

Einstein al infinito vacío.

La física en entrevistas cronográficas

de Julián Félix

terminó su tratamiento editorial

en el mes de agosto de 2024.

En su composición se utilizó la fuente

tipográfica Americane de 11, 12 y 18 puntos.

El cuidado de la edición estuvo a cargo

de Jaime Romero Baltazar.