

Los hacedores de la física

Jorge A. Ludlow Wiechers*
M. Angeles Paz-Sandoval**

El deseo de aprender

179. Toulouse-Lautrec: *Mujer al piano* (Mlle. Dihau). Fecha-
do en 1890. Oleo sobre cartón, 68 x 48,6 cm. Expuesto
con los Independientes en marzo de 1890. Albi, Musée
Toulouse-Lautrec.



Dos factores determinan la creación de la ciencia: la capacidad de aprender y la curiosidad.

El deseo de conocer y de aprender ha sido siempre una característica del ser humano, siendo la comprensión de distintos fenómenos de la naturaleza un haz de luz que contribuye a clarificar y entender cada vez más el mundo que nos rodea.

Esta información aprendida tiende a conservarse y aún más, a ser sistematizada para que se disemine en la colectividad, siendo esta la función de la cultura, la cual conlleva a un cambio irreversible mientras la sociedad no pierda su memoria.

Uno de los atributos básicos del sistema nervioso es su capacidad de aprender. La comunicación de ideas, conceptos y experiencias entre seres sociales ha contribuido a generar un cambio fundamental en el proceso evolutivo de las especies animales, ya que ha permitido que la experiencia individual pueda afectar el comportamiento de otros miembros del grupo.

Al compartir ideas, el hombre puede sumar las habilidades de su grupo, lo que permite que los logros de la inteligencia individual sean utilizados por toda la sociedad. En la cultura humana, esto ha llevado a la creación de lo que podríamos considerar el "intelecto comunitario". Y es precisamente

* Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, México, 02200 DF.

** Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN, Apartado Postal 14-740, México, 0700 DF.

esta mente colectiva la que ha permitido al hombre evolucionar a una velocidad impresionante comparada con otros animales.

En la actualidad la humanidad vive una verdadera explosión del conocimiento. El avance de la ciencia está cambiando al mundo en forma irreversible. Se requiere investigación científica de calidad, lo cual exige la utilización máxima de las capacidades mentales para entender la información existente, separar la información relevante de la irrelevante, integrar esta información en un marco conceptual llamado usualmente el *modelo* más amplio y así poder predecir comportamientos específicos de algún sistema de análisis. *Con el modelo se mira al mundo*. El desarrollo del pensamiento sistemático y del hábito de estudio es algo que sólo puede aprenderse con la práctica y por quien lo hace por sistema. La investigación científica *obliga*, al investigador, en forma activa, al hábito de pensar y razonar.

En cuanto a la curiosidad podemos decir que es el imperativo de deseo de conocer y es característica de algunos seres vivos.

Una planta por muy desarrollada que parezca no siente curiosidad por su medio ambiente, al menos no en forma que podamos reconocer. Toma lo que buenamente puede del viento, la lluvia y el sol para sobrevivir.

En contraste, existen organismos que han desarrollado ciertos movimientos independientes, significando un gran avance en el control de su medio ambiente y el inicio de ellos en el mundo de la aventura y de la curiosidad. Por ejemplo, un roedor curioso descubre más fácilmente en dónde está su alimento, con esto tiene una ventaja relativa frente a otros animales que no curiosean y "sufren más" para obtener su alimento.

Es bien sabido que la capacidad de recibir, almacenar e interpretar los mensajes del mundo externo puede rebasar la pura necesidad; de hecho los organismos superior-

es, una vez satisfechas sus necesidades primarias, siguen mostrando un claro deseo de explorar el medio ambiente. Cuando más evolucionado es el cerebro (por ejemplo los changos), mayor es el impulso a explorar. El cerebro humano es la más estupenda masa de materia organizada y su capacidad de recibir, organizar y almacenar datos supera ampliamente los requerimientos ordinarios de la vida. Se ha dicho que un ser humano durante su vida puede llegar a recibir más de cien millones de datos de información.

Este deseo de conocer encuentra su primera expresión en respuestas a las necesidades prácticas de la vida humana: cómo tener las mejores cosechas, cómo diseñar de manera óptima una vasija, cómo mejorar la vestimenta de acuerdo a las necesidades climatológicas, etc.; todo ello relacionado con las artes aplicadas. ¿Pero una vez dominadas estas tareas qué ocurre? Inevitablemente, el deseo de conocer impulsa a realizar actividades menos limitadas, más complejas.

Surgen preguntas sin una necesidad práctica, como ¿por qué cae una piedra?, ¿a qué distancia se encuentra la ionosfera y la estratosfera?, etc. Afortunadamente, siempre ha habido personas que se han interesado por preguntas aparentemente inútiles (*ya que tienen más curiosidad*) y han tratado de aprender, por el puro deseo de conocer.

Los inicios

Remontándonos un poco en la historia, podemos encontrar gente interesada en el ejercicio intelectual. De manera breve, trataremos de dar un panorama del desarrollo de la ciencia haciendo énfasis en el por qué de la ciencia y el por qué ésta no es obra de individuos aislados, sino producto de una comunidad científica. Asimismo mencionaremos las diferentes formas en que podemos llegar a conocer, sus ventajas y desventajas.

Podemos conocer algo a través de una idea universal, este método es conocido como deductivo (*de lo general a lo específico*); y podemos conocer a través de un experimento, a este último se le conoce como método inductivo (*de casos específicos se abstrae el modelo general*).

Los griegos se caracterizaron por el uso del método deductivo como forma de estudiar el universo. Tuviron grandes éxitos en el desarrollo de la Geometría, debido a su buena y habitual capacidad de abstracción y generalización. Sin embargo en parte por medio de Aristóteles, llegaron a cometer dos serios errores: primero, llegar a considerar a la deducción como el único medio respetable de alcanzar el conocimiento, y segundo, extrapolar el método a otras ramas del conocimiento, suponiendo que éstas podrían desarrollarse a partir de "principios o verdades absolutas" como en el caso de las matemáticas.

Por lo anterior se tomaron en astronomía como "principios absolutos" las nociones de que:

1) La Tierra era inmóvil y al mismo tiempo el centro del Universo.

2) En tanto que la Tierra era corrupta e imperfecta, los cielos eran inmutables y perfectos. Dado que los griegos consideraban al círculo como la curva perfecta y teniendo en cuenta que los cielos eran también perfectos, dedujeron que todos los cuerpos celestes debían moverse formando círculos alrededor de la Tierra.

Con el tiempo, sus observaciones (procedentes de la navegación y del calendario) mostraron que los planetas no se movían en círculos perfectos y, por tanto, se vieron obligados a considerar que realizaban tales movimientos en combinaciones cada vez más complicadas de círculos (denominados epiciclos), lo cual fue propuesto por Ptolomeo. Igualmente, Aristóteles elaboró caprichosamente teorías acerca del movimiento a partir de principios "evitantes por sí mismos", tales como la

afirmación de que la velocidad de caída de un objeto era proporcional a su peso (cualquiera veía que una pluma cae más lentamente que una piedra, lo cual “hacía al principio evidente”, en realidad es una ausencia de un método crítico de conocimiento).

Por los años 1250 los hombres decidieron aplicar el pensamiento griego a campos diversos. Los pensadores del Renacimiento aportaron una nueva perspectiva a la filosofía natural de los griegos, perspectiva no demasiado satisfactoria para los viejos puntos de vista.

En 1543 el clérigo polaco y astrónomo por afición, Nicolás Copérnico (1473-1543) publicó un libro en el que fue tan lejos que llegó incluso a rechazar un principio básico de la astronomía de su época: afirmó que el Sol, y no la Tierra, era el centro del Universo (sin embargo, mantenían aún la noción de las órbitas circulares para la Tierra y los demás planetas).

El nuevo principio, conocido como teoría heliocéntrica del sistema solar, permitió una explicación mucho más simple de los movimientos observados en los cuerpos celestes. El “atentar” contra la teoría griega de una tierra inmóvil, condujo a un retraso en lograr la aceptación de esta nueva teoría copernicana casi un siglo después. El sistema copernicano *representaba un cambio crucial*, ya que modificaba una piedra angular de la cultura de su época; aunque para nosotros, simplemente se cambió un principio por otro. Pero el hecho de cambiarlo influyó profundamente el pensamiento. La revolución iniciada por Copérnico suponía no sólo el cambio de principios, sino que representaba también un enfoque nuevo de la naturaleza.

Un gran paso hacia adelante lo dio Kepler (1571-1630) quien estudiando (curioseando y aprendiendo) los movimientos ya observados por Copérnico, descubrió que las órbitas circulares, como modelo para explicar el movimiento, no aclaraba los periodos de prima-

vera, verano, otoño e invierno. Así, el modelo no justificaba la experiencia objetiva adecuadamente y Kepler llegó a la conclusión de que las órbitas eran elípticas, ocupando el Sol uno de los focos.

Además estableció que el área descrita en un tiempo dado por un radio que une al Sol con un planeta es constante para ese planeta. Finalmente, determinó que la razón del cuadrado del tiempo de revolución al cubo de la distancia media al Sol es la misma para todos los planetas.

Las nuevas leyes de Kepler constituían una ruptura radical con el pitagorismo un tanto liberal que había guiado las investigaciones de Copérnico. Kepler rompe con las complejidades epicíclicas de Ptolomeo y con la necesidad de pensar en movimientos uniformes en las diferentes órbitas de los planetas (cuando los planetas se hallan más cerca del Sol, se mueven con mayor rapidez que en las partes más lejanas).

Ya que la evidencia empírica mostraba gran afinidad con los modelos propuestos, quedó obligada una crítica al método de conocimiento, con la cual Copérnico y Kepler destronaron a la escuela de los antiguos sabios. Esto obligó a los hombres a reconocer que era arriesgado razonar sin tener en cuenta los hechos: se hizo un pri-



mer cambio del método deductivo (decidir el mundo desde el escritorio) a favor del método inductivo (haciendo específicas y repetidas observaciones y luego armando el rompecabezas para ver qué nos dice la realidad).

El proceso de incrementar el conocimiento contiene dos partes: el formular ideas claras y sujetarlas a un juicio de validación: el experimento. Así, por un lado es peligroso ignorar las experiencias, por otro, una ciega aceptación de las mismas puede resultar tan nociva para la ciencia como las más absurdas especulaciones.

La fundación

Uno de los grandes fundadores de la ciencia moderna es Galileo Galilei (1564-1642), cuya revolución consistió en situar a la inducción por encima de la deducción, como el método lógico de la ciencia. En lugar de deducir conclusiones a partir de una supuesta serie de generalizaciones, el método inductivo toma como punto de partida las observaciones, de las que derivan las generalizaciones. Actualmente el científico moderno considera este método inductivo y su experimento que lo valida, como el proceso esencial en la adquisición del conocimiento y como la única forma de justificar las generalizaciones.

Además concluye que no puede sostenerse ninguna generalización, a menos que sea comprobada una y otra vez por nuevos y cada vez más precisos experimentos. Sin que importen las veces que una teoría haya resistido las pruebas de forma satisfactoria no puede existir ninguna certeza de que no será destruida por la siguiente observación. No hay verdad última.

Ya que al observar la realidad, ella nos dice, nos relata, cómo está configurada, el modelo sólo describe esta configuración. El método inductivo no puede hacer generalizaciones de lo que no puede obser-

var. Este es un principio de conocimiento.

Cuando nos tiramos en una avalancha por una calle empinada, estamos en realidad confirmando las leyes universales de la naturaleza; los que no tienen curiosidad científica sólo ven que las bajadas más fuertes son más divertidas, mientras que los otros relacionan la pendiente con la velocidad de bajada.

Galileo tiene el mérito de ser el primero en realizar experimentos cronometrados y en utilizar la medición de manera sistemática.

Dentro de la astronomía Galileo contribuyó enormemente perfeccionando el telescopio y utilizándolo para mirar hacia el firmamento acabando para siempre con la errónea visión de Aristóteles, ya que resultaba que la Vía Láctea se componía de un sinnúmero de estrellas. Describió en detalle las fases de la Luna, así como las fases del planeta Venus pronosticados por Copérnico. Descubrió los satélites de Júpiter y confirmó que las órbitas de éstos seguían las leyes de Kepler.

Tales descubrimientos trastornaron los prejuicios arraigados e hicieron que los escolásticos ortodoxos condenasen al telescopio y se encargaran de aplastar la investigación científica de Galileo durante sus últimos años de vida.

Galileo incursionó también en la dinámica encontrando que los principios propuestos por Aristóteles estaban una vez más equivocados. Su nueva concepción de la dinámica constituyó una ruptura radical con el aristotelismo en dos aspectos. En primer lugar, postuló que el reposo no era condición privilegiada de los cuerpos, y que el movimiento era tan natural como aquél. En segundo lugar, probó que lo "natural" no era el movimiento circular, según se había creído, sino el movimiento rectilíneo. Si un cuerpo no sufre ninguna clase de interferencia, continúa moviéndose con velocidad uniforme en línea recta.

La misma forma insuficientemente crítica de efectuar las observaciones había impedido hasta entonces una sólida comprensión de las leyes que rigen la caída de los cuerpos. Es un hecho comprobado que, en el seno de la atmósfera, un cuerpo denso cae con más rapidez que otro ligero de igual masa. Y lo que hay que tomar en cuenta aquí es la obstrucción del medio en el que caen los cuerpos. En ausencia de este medio, esto es, en el vacío, todos los cuerpos caen a la misma velocidad.

Las observaciones efectuadas con respecto a la caída de los cuerpos demostraron que los cuerpos caían con velocidad no uniforme, sino acelerada, por lo que tenía que haber algo que interviniese en el movimiento natural de los cuerpos. Ese algo es la fuerza de gravedad ejercida por la Tierra.

Es interesante hacer notar que Galileo a falta de reloj o cronómetro, cronometraba sus experimentos con su corazón.

El concepto de gravedad ya se observa en Kepler, al decir: "en tiempos iguales se barren áreas iguales", con lo cual la Tierra y los demás planetas se aceleran o frenan dependiendo de su distancia al Sol. Por su parte Galileo al hablar de la caída de los cuerpos involucraba la noción de gravedad; en ambos casos *ninguno hizo explícito el concepto de gravedad*, y se requirió de muchos años más para que alguien lo generalizara y explicara en detalle.

El paso definitivo para adelantar una teoría general de la dinámica lo dio Isaac Newton (1642-1727). La mayoría de las nociones que contribuyeron a su formación ya habían sido apuntadas o utilizadas anteriormente de manera aislada. Pero Newton fue el primero en comprender todo el significado de los tanteos de sus predecesores. En 1687, publica su obra *Principia mathematica philosophiae naturalis*, en donde expone las tres leyes del movimiento.

La primera ley es una enunciación generalizada del principio

de Galileo. Todos los cuerpos, si no son obstaculizados, se mueven con velocidad constante en línea recta, o, dicho en términos técnicos, con velocidad uniforme.

La segunda ley define la fuerza como la causa del movimiento no uniforme, estableciendo que la fuerza es directamente proporcional al producto de la masa por la aceleración.

La tercera ley es el principio de que toda acción provoca una reacción igual y contraria.

Con Newton tenemos la explicación completa y definitiva de lo expuesto por Copérnico y Kepler en astronomía. La ley de la gravitación universal establece que: entre dos partículas cualesquiera de materia, existe una fuerza de atracción directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias. De este modo el movimiento de los planetas, de sus satélites y de los cometas puede ser explicado hasta en sus detalles más insignificantes. Puesto que toda partícula afecta a las demás, esta teoría permitió calcular exactamente las perturbaciones de las órbitas originadas por otros cuerpos. Esto no lo había logrado ninguna otra teoría.

En cuanto a las leyes de Kepler, ahora no eran más que meros antecedentes de la teoría newtoniana; por fin, parecía haberse descubierto la clave matemática del universo, gracias a que la ciencia es a fin de cuentas una labor de todos.

La consolidación

Un nuevo salto en el progreso y entendimiento de la física lo da siglos más tarde Albert Einstein (1879-1955), quien con su teoría de la relatividad no hace otra cosa que generalizar aún más la teoría newtoniana.

Einstein motivado por el deseo de comprender, mostró que la mente humana es capaz de reconocer un orden y una forma fundamental en el Universo.

Su primera teoría de la relatividad lo empujaba a perfeccionar las leyes físicas; así encontró un pero a las leyes del movimiento de Newton, sustentadas por un sistema particular de referencia: el del espacio estacionario o absoluto para juzgar el movimiento de un cuerpo. Esta condición no tenía razón de ser. Era artificial, no vinculada a mediciones; era un defecto de la teoría, algo impuesto que causaba innecesaria complejidad.

188. Mever de Haan. *Algunas de Le Poulin*. Fechado en 1889. 73.7 x 93 cm. Otterlo, Rijksmuseum Kröller-Müller.



Einstein pensó que era posible suprimir el defecto. Era cosa de encontrar leyes que permitieran juzgar el movimiento desde cualquier punto de vista observacional, desde cualquier marco de referencia; esto es, leyes universales. Logró demostrar que en el caso del movimiento uniforme no era necesario el marco de referencia proporcionado por el espacio absoluto. Sus nuevas leyes del movimiento no estaban sustentadas por éste ni por ningún otro sistema de referencia preferido.

Diez años después, establece la segunda teoría de la relatividad, con la idea de simplificar, generalizar y con ello perfeccionar las leyes físicas. En ella se ocupa del movi-

miento no uniforme, aún sin existir experimentos que demostrasen o revelasen algún inconveniente de la teoría existente.

El sentir de Einstein lo guió de nuevo y le hizo poner en tela de juicio cierta coincidencia de la ley newtoniana. Se trataba de la perfecta correspondencia entre la masa de un cuerpo considerada como fuente de gravedad en la ley de gravitación de Newton y la masa de un cuerpo como medida de la

inercia en las leyes de movimiento de Newton. De acuerdo con estas últimas, la cantidad de fuerza necesaria para modificar el movimiento de un cuerpo depende de la masa de éste.

Einstein explica los efectos de la gravedad y la inercia a partir de una sola idea, la del campo gravitatorio. Explica los efectos de la inercia y de la gravedad como debidos a cambios en el espacio que rodea a los cuerpos afectados. La gravedad no es una fuerza (superando a Newton) es una propiedad del espacio, creada por las masas distribuidas en el universo. Dondequiera que haya un planeta o una estrella se creará un campo gravitatorio

modificándose las propiedades del espacio.

El camino que sigue un cuerpo es determinado por el ámbito espacial que atraviesa. En lugar de espacio, en realidad, debe decirse espacio-tiempo, puesto que para describir un movimiento se requieren de tres dimensiones espaciales (en dónde) y una dimensión temporal (cuándo). En la primera teoría se ve que manejar la dimensión temporal separada de las dimensiones espaciales no interfiere en lo absoluto y se apega bien a los fenómenos ocurridos en nuestro planeta; sin embargo, cuerpos que se mueven fuera de la Tierra, en intensos campos gravitatorios ya no siguen las leyes newtonianas. (Un ejemplo es el planeta Mercurio y su órbita.)

Así, podemos resumir que las teorías de Einstein responden y son válidas para cualquier sistema de referencia, cualquier lugar de observación. Son leyes universales, gracias al trabajo de un buen número de personas que fueron aportando modestos resultados los cuales se aglutinaron dentro de la concepción einsteiniana.

Ahora resulta que tenemos que ir a otra galaxia para poder realizar experimentos einstenianos y apreciar que en base a la experiencia acumulada por medio del trabajo de generaciones podrán abrirse, una vez más, nuevas teorías más generales, basadas en la curiosidad y el deseo de aprender. Como resulta que por el momento está difícil ir más allá de la Luna, nos vamos entonces al mundo del microcosmos y allí investigamos: ¡la realidad está por todos lados! En espera de un englobamiento y entendimiento aún mayor de las teorías presentadas, el hombre sigue estudiando el universo que nos rodea con la intención de cada vez conocerlo mejor y llegar a establecer nuevas teorías, con premisas lógicamente sencillas, no forzadas; esto es, la teoría debe lucir una perfección interna.