

# LOTERÍA

Revista Cultural Lotería

Enero - Febrero 2005

Nº. 458





*República de Panamá*  
*Lotería Nacional de Beneficencia*

## Junta Directiva:

Representante del Ministerio de Economía y Finanzas  
Licda. Gisela A. de Porras  
Directora General de Ingresos

Representante del Ministerio de Gobierno y Justicia  
Licda. Olga Gólcher  
Viceministra de Gobierno y Justicia

Representante de la Contraloría General de la República  
Licdo. Jorge L. Quijada V.

Representante de los Compradores de Billetes  
Ing. Raúl Ávila Escala

Representante del Sindicato de Billeteros de Panamá  
Sr. Marcos Anderson

## Por la Administración

Director General  
Licdo. Omar E. Chen Ch.

Secretario de la Junta Directiva  
Ing. Eric O. Cataño

# LOTERÍA

**Revista Cultural Lotería**

**Enero - Febrero 2005**

**Nº. 458**

Licdo. Omar E. Chen Ch.  
Diréctor General

Licdo. Israel Martínez  
Subdirector General

Licda. Nelly Grimaldo de Bósquez  
Directora de Desarrollo Social y Cultural

Licda. Yudisthira Barrera E.  
Subdirectora de Desarrollo Social y Cultural

## **CONSEJO EDITORIAL**

Belgis Castro  
Pedro Rivera  
Eduardo Flores  
Denis Chávez  
Salvador Sánchez  
Luz Marina Crespo

Profa. Herminia R. de Chan  
Correctora

PUBLICACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO  
SOCIAL Y CULTURAL  
ISSN 0024,662X

---

Para suscripciones y consultas sobre la REVISTA LOTERÍA  
Comunicarse con el Departamento Cultural  
Telefax: 207-6800 ext. 1248 - luz.crespo@lnb.gob.pa

# Índice

---

## **Número Especial dedicado al Año Mundial de la Física**

### **5. Presentación de la Revista**

Licdo. Omar E. Chen Ch.

Director General de la

Lotería Nacional de Beneficencia de Panamá

### **8. Un Vistazo a Galileo Galilei... José Emilio Moreno**

### **21. Lo Bueno, lo Malo y lo Feo de Isaac Newton... Pablo Martín Weigandt Beckmann**

### **31. Al Voltear la Página de la Síntesis Einsteniana... Julio César Garrido**

### **47. La Historia de la Física en Panamá... Eduardo Flores Castro**

### **60. Bernardo Lombardo: Padre de la Física en Panamá... Irene Lombardo de Rodríguez, Bernardo E. Rodríguez Lombardo y Mir Rodríguez Lombardo**

### **72. Semblanza del Profesor Sergio Guerra Gómez, Ganador de la Primera Medalla al Mérito Bernardo Lombardo... María Lourdes Lezcano**

### **80. La Física También Forma Parte de la Cultura... Omayra Pérez C. y Bernardo Fernández G.**

### **95. La Luz es...Ondas y Partículas... Adriano Ibarra Durán**

### **108.La Radiación UVB y la Capa de Ozono en Panamá... Pino, Alfonso; Sánchez, Néstor; Guerra, Sergio; Castillo, Dionel; Maturrell, Álvaro; Espinosa, Jorge; Samudio, Hoodmy y Jordán, Luis**

# ***Presentación de la Revista***

La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el año 2005, el Año Mundial de la Física. Una de las razones de esta designación es que este año conmemora el centenario de los extraordinarios aportes de Albert Einstein.

En julio de 1905, el joven Einstein de 26 años, nacido en Alemania, que trabajaba como asistente técnico de la Oficina Suiza de Patentes en Berna, presenta para su publicación seis artículos a una de las revistas de Física más importantes de la época. A partir de la aparición de estos artículos en donde se presentaban la Teoría de la Relatividad, la Teoría Cuántica del Efecto Fotoeléctrico y la Teoría del Movimiento Browniano, nada volvería a ser igual. Ellos producirían un cambio en las concepciones de las leyes que gobiernan nuestro universo, a la vez que cambiarían la tecnología de los años venideros.

El 2005, como Año Mundial de la Física, no está dirigido únicamente a los que hacen o enseñan física, sino a los jóvenes que aprenden Física y a toda la sociedad, en general, que son los usuarios de los milagros de la Física. Es importante que las comunidades aumenten su cultura científica, ya que de esta forma tendrán más elementos de juicio para la toma de decisión en los asuntos relacionados con las aplicaciones tecnológicas, económicas, ambientales, culturales, sociales y políticas.

Destacan en este número, los trabajos dedicados a las personalidades sempiternas en el campo de la Física, como los dedicados a **Galileo Galilei e Isaac Newton** del Dr. José Emilio Moreno y del Profesor Pablo Weigandt, respectivamente. Por

otra parte, la monografía del **Dr. Julio César Garrido** abre el debate sobre las **teorías einstenianas**; y nos muestra como cambiaron los conceptos de espacio-tiempo, cómo dieron un límite máximo para la transmisión de la información y de cómo se relacionaron los conceptos de masa y energía.

Como señala el Dr. Eduardo Flores en su artículo **Historia de la Física en Panamá**, en nuestro país, también tenemos que agasajar a los físicos que han contribuido al desarrollo de esta disciplina. El primer físico que residió en la República fue el estadounidense Daniel Posin, quien fue invitado por Octavio Méndez Pereira para la organización inicial de la Universidad de Panamá. Bernardo Lombardo fue el primer panameño en obtener un título de Física. Junto a él, también contribuyeron los profesores Ernesto Richa, los hermanos Antonio e Isaiás Mock y el profesor Simón Quirós. Además, los profesores Sergio Guerra, Gilda Sánchez, Héctor Castillo y Ricardo Lajón contribuyeron a la divulgación de la Física en nuestro país. En la década de los 70, regresó del extranjero un grupo de panameños con diferentes especialidades en el campo de la Física, quienes jugaron un papel importante en el auge de esta disciplina. A ellos y a muchos otros físicos panameños y panameñas que no hemos mencionado, y a los cuales pedimos disculpas, también está destinado el 2005, Año Internacional de la Física.

El ensayo dedicado a **Bernardo Lombardo** quien por sus aportes a la nación, fue designado por la Sociedad Panameña de Física como **Padre de la Física en Panamá**, es un excelente trabajo que recoge las contribuciones de este insigne panameño. El mismo, escrito por Irene Lombardo, Bernardo Rodríguez y Mir Rodríguez, quedará como un testimonio para las presentes y futuras generaciones. Por otra parte, el trabajo que elaboró la profesora María Lezcano, presenta una semblanza del laureado Profesor **Sergio Guerra, ganador de la primera Medalla al Mérito Bernardo Lombardo**.

De igual manera, deseamos exaltar el trabajo titulado **La Física También Forma Parte de la Cultura** de los Doctores Omayra Pérez y Bernardo Fernández, en el cual nos muestran que los conocimientos y métodos que la física ha desarrollado a lo largo de la historia son componentes importantes de la cultura de la humanidad. Como una muestra de los debates en el campo de la física que ha trascendido al campo de la filosofía y de la epistemología, está el artículo del Licenciado Adriano Ibarra Durán, titulado **“La Luz es... Ondas y Partículas”**.

Finalmente, el ensayo elaborado por el Grupo de Física de la Atmósfera de la Universidad de Panamá, **Las Radiación UVB y la Capa de Ozono en Panamá**, muestra una de las aplicaciones de la física al campo de la problemática ambiental y la salud pública.

Para concluir, deseamos reiterar que la Física es una aventura intelectual que inspira a la juventud y nos lleva a los límites del conocimiento de la naturaleza con estructura matemática. Ella provee la base del conocimiento para los avances e infraestructuras tecnológicas que necesitan nuestros países para su desarrollo. La Física es una ciencia esencial para las otras ciencias y el entendimiento de otras áreas como las ciencias de la tierra, el medio ambiente y la agricultura. En resumen, la Física mejora la calidad de vida a través de sus aportes en ingeniería, medicina y en todas las ramas del conocimiento, ya que no hay actividad humana que no utilice los beneficios que ella ofrece.

Feliz año 2005 y bienvenidos al maravilloso Año Mundial de la Física.

**Licdo. Omar E. Chen Ch.**  
Director General  
Lotería Nacional de Beneficencia

# Un Vistazo a Galileo Galilei

José Emilio Moreno

Departamento de Física, Universidad de Panamá

Galileo Galilei fue el primero de siete hermanos. Nació el 15 de febrero de 1564 en Pisa, Italia, el mismo año que murió Miguel Ángel y que naciera Shakespeare. Hijo de Giulia Ammannati de Pescia y de Vincenzo Galilei. Su padre fue muy culto, procedía de Florencia, Italia; tenía vocación por la música y sin embargo, se dedicó al comercio debido a sus necesidades económicas. Galileo, desde niño hacía pequeños juguetes mecánicos lo cual le sirvió para desarrollar su inventiva. Le gustaba dibujar y pintar; y heredó de su padre el gusto por la música; tocaba el órgano y el laúd. Junto con su familia, Galileo se traslada de Pisa a Florencia, a la edad de 10 años y continúa sus estudios en el convento de Santa María de Vallombrosa. En el año de 1580, a la edad de 17 años, por influencia de su padre, ingresa a la Universidad de Pisa para estudiar Medicina, carrera a la cual renuncia después de cuatro años. Regresó a Florencia y se dedicó al estudio de la matemática y la mecánica bajo la guía de Otilio Ricci y además, se interesó por el estudio de la filosofía y la literatura. Un año después de su regreso a Florencia, Galileo inventó una balanza hidrostática con la cual midió los pesos relativos de los metales componentes de una aleación. En aquella época, los medios económicos de su padre empezaron a agotarse por lo que se vio obligado a buscar trabajo.

## Galileo y su recorrido en las universidades

Galileo, para ganarse la vida, daba clases particulares de matemáticas, e hizo gestiones para conseguir empleo en las universidades de Florencia, Bolonia y Padua, pero fue rechazado por ser muy joven. En el año de 1589, a la edad de 25 años, Galileo consigue su primer trabajo en una plaza de matemática en la Universidad de Pisa, con un sueldo muy bajo<sub>1,2</sub>. En la época

había muchos seguidores de las ideas de Aristóteles, sin embargo, Galileo tuvo la valentía de contradecir la física de Aristóteles, que decía que el movimiento hacia abajo de una masa de oro, plomo o de cualquier otro cuerpo es más rápido en proporción a su tamaño; opinión que era compartida por personalidades como Lucrecio y Leonardo da Vinci, pero no por Galileo. Tras la muerte de su padre en 1591, Galileo se ve obligado a responsabilizarse por su familia. En busca de un mejor salario, Galileo, en 1592, renuncia a su trabajo en la Universidad de Pisa para trabajar en la Universidad de Padua en donde enseñó geometría, mecánica y astronomía, gracias al apoyo que le brindó el marqués Guidobaldo del Monte.

En Padua, comenzó a realizar una serie de experimentos que lo llevaron a hacer grandes aportes a la estática y a la dinámica, ideas que quedaron plasmadas en su obra **Dos Nuevas Ciencias**, refiriéndose a la Estática y a la Dinámica, que publicó casi al final de su vida. Estando en Padua, Galileo fue un defensor de la Teoría de Copérnico, lo que posteriormente le trajo serios problemas con la Iglesia.

Tras el nacimiento de sus hijos: Virginia (1600), Livia (1601) y Vincenzo (1606), producto de la unión con Marina Gamba, las necesidades económicas aumentaron y tuvo que dar nuevamente clases particulares, ya que el salario no era suficiente. La permanencia de Galileo en Padua representó el periodo más creativo, intenso y hasta feliz de su vida.

En busca de un mejor ambiente intelectual del que le presentaba la ciudad de Padua, y de un mejor salario, Galileo decide irse a Florencia y le pide ayuda al gran Duque de Toscana, Cósimo II de Médicis; en honor a él dio el nombre a los satélites de Júpiter como Sidera, Medicea y le dedicó una de sus obras de astronomía, **Sidereus Nuncius**. Cósimo le correspondió nombrándolo en el año de 1610, como primer matemático de la Universidad de Pisa y primer matemático y filósofo del Gran Duque. Galileo quería dedicarse más a sus investigaciones por lo que fue nombrado sin la obligación de impartir clases y con un mejor salario. Galileo se fue a Florencia en 1610 sin su pareja<sup>1,2</sup>.

## **Galileo y algunos de sus aportes al conocimiento científico**

Galileo vivió en la época del Renacimiento, período considerado de gran esplendor para Europa. El Renacimiento tuvo sus orígenes en Italia, en el siglo XIV, difundándose por el resto de Europa durante los siglos XV y XVI. En este período prosperó, de forma vertiginosa, la educación en general, las artes, la música, la filosofía, la ética, la moral, la ciencia, etc. que buscaba la formación de un hombre de forma integral. En Europa se incrementó el número de investigadores y pensadores, cifra que superó al de los filósofos de la antigua Grecia. Fue la época de Leonardo da Vinci, (1452-1519), Miguel Ángel (1475-1564), Nicolás Copérnico (1473-1543), Teofrasto de Hohenheim (1490-1541), Francisco Bacon (1561-1626), Johannes Kepler (1571-1630), René Descartes (1596-1650), Evangelista Torricelli (1608-1647), Giovanni Borelli (1608-1679), Blaise Pascal (1623-1662), Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), Galileo Galilei (1564-1642) e Isaac Newton (1642-1727), entre otros.

El Renacimiento marcó el paso del mundo Medieval al mundo Moderno donde se hacen adelantos exitosos en diferentes áreas del conocimiento. Gracias a Galileo se hacen grandes avances en cómo hacer ciencia a través de la experimentación. Galileo Galilei logró superar los conceptos aristotélicos que le habían enseñado en su juventud y objetó sus explicaciones del movimiento de proyectiles y las de la caída libre de los cuerpos. En la época se pensaba que al caer dos cuerpos de la misma altura, la velocidad de caída era proporcional a su peso, es decir, se pensaba que el más pesado caería más rápido. Galileo no estuvo de acuerdo con estas ideas aristotélicas. Al principio sostenía que si los cuerpos eran del mismo material, aunque fueran de distinto tamaño caerían con la misma rapidez, pero según él, esto no se cumplía si los cuerpos eran de distintos materiales<sub>1,3</sub>. Posteriormente, generaliza y sustenta que no importa de qué material se trate, caerán con la misma rapidez. La genialidad de Galileo fue más allá; decía que su teoría sobre la caída libre de los cuerpos se aplicaba en el vacío, ya que la

resistencia del aire retrasa más a los cuerpos ligeros que a los más pesados<sub>1</sub>. Cabe señalar que si hacemos una encuesta hoy en día sobre este concepto, aún con aquellos que ya han recibido cursos formales de física, un porcentaje significativo sigue pensando de forma aristotélica; sin embargo, ya Galileo en 1604, mediante una carta que envía a Paolo Sarpi y luego en 1609, da evidencias de haber enfocado de forma adecuada la cinemática del problema, cuyas publicaciones las hace en 1632 en la obra **Dos Sistemas Principales** y en 1638, en **Dos Nuevas Ciencias**<sub>1</sub>.

Se dice que Galileo para demostrar sus conceptos sobre la caída libre de los cuerpos, dejaba caer los cuerpos desde la Torre inclinada de Pisa, sin embargo, no hay evidencias de que estas experiencias se realizaran allí<sub>2,4</sub>. Galileo tenía problemas para medir los tiempos en la caída libre de los cuerpos, ya que no contaba con un reloj adecuado. Para mejorar las medidas de los tiempos, utilizó un reloj de agua. Él llenaba un recipiente con agua y le abría un pequeño orificio en la parte más baja. El recipiente utilizado lo llenaba con agua hasta una altura considerable, de tal forma, que cuando ésta salía por el orificio, la altura que bajaba el nivel del agua en el recipiente era despreciable frente a la altura de la columna de agua en el recipiente. Es una clara evidencia de la importancia que le daba Galileo al control de variables. Después, pesaba el agua utilizada, partiendo de la hipótesis que el peso del agua que salía por el orificio era proporcional al tiempo. De esta forma, media, aunque de forma rudimentaria, el tiempo de la caída de los cuerpos. Para mejorar la exactitud en la medida de los tiempos, utilizó planos inclinados<sub>1,2,3</sub>, pero primero tuvo que convencerse que el tiempo que tardaba un objeto en caer desde un plano, sólo dependía de la altura vertical desde la cual se soltaba, independientemente del ángulo utilizado. Hizo muchos experimentos con planos inclinados, y afirmó que si un objeto baja por un plano inclinado, puede subir por otro plano a la misma altura desde la cual fue liberado, si se logra eliminar la fricción en los planos o cualquier otra resistencia. También sustentó que un cuerpo en movimiento seguirá en movimiento y con la misma velocidad si no actúa sobre él ninguna fuerza externa. Con este razonamiento, el movimiento ya no era

concebido como un proceso que requería la aplicación permanente de una fuerza, sino que era un estado del cuerpo que persistía sin cambio alguno, a menos que se aplicara una fuerza<sub>1</sub>. Estableció que es la fuerza el cambio de velocidad, y no la velocidad. Galileo no investigó por qué caen las cosas, sino cómo, es decir, a qué reglas matemáticas obedecen, lo que constituyó un adelanto en el método científico. Él supuso que la velocidad de un cuerpo aumenta en razón del tiempo empleado en caer y contrastó su hipótesis con los resultados experimentales. También descubrió que el periodo de un péndulo es independiente de su desplazamiento (ángulo), siempre que estos sean pequeños.

Galileo probó que el movimiento de un proyectil describe una parábola, que la velocidad horizontal del mismo es constante y que el movimiento vertical es similar al de un cuerpo que cae libremente. Demostró que el alcance máximo del proyectil ocurre cuando se lanza a 45 grados. A partir de la observación en una balanza, un objeto pesado colocado a poca distancia del fiel oscila en equilibrio con un peso pequeño colocado a una distancia mayor del fiel; le vino la idea de que lo que persiste en el movimiento es el producto del peso por la velocidad. A este producto lo llamó momento o ímpetu<sub>1,3</sub>.

Para Galileo el peso era todavía una tendencia intrínseca hacia abajo, no algo que dependía de una relación extrínseca con otro cuerpo atrayente, tal como había sido sugerido por Gilbert y Kepler por analogía con el magnetismo y que, posteriormente, iba a ser generalizado por Newton como la teoría de la gravitación universal. El primer paso y más difícil de la dinámica lo dio Galileo. Pasó a los conceptos matemáticos definidos de tiempo y espacio<sub>3</sub>. Galileo se dedicó a la investigación del “*calor*” y entre 1600 y 1609 estudió el magnetismo inspirado por la obra **De Magnete**, de William Gilbert<sub>1</sub>.

Estando en Padua, también se dedicó a cuestiones técnicas como a la arquitectura militar, a la topografía y otros temas afines. Ideó una máquina para elevar agua, un termoscopio, un compás y un procedimiento mecánico de cálculo que expuso en

su primera obra impresa: **Le operazioni del compasso geometrico e militare** en 1606. Este compás originalmente fue diseñado para resolver problemas relacionados con la artillería y que más tarde, lo perfeccionó; le dio otros usos e incluso lo comercializó.<sup>2</sup>

Galileo inventó el primer termómetro y construyó su propio telescopio en 1609, el cual le sirvió para entretenerse el resto de sus días mirando el firmamento. También Galileo aceptó la teoría atomística sobre la materia. Ningún hombre desde Arquímedes había hecho tanto por la física.<sup>1</sup> Reconoció que no sabía nada sobre la naturaleza de la fuerza, de la causa de la gravedad ni del origen del universo. Decía que vale más *“pronunciar esta sentencia prudente ingenua y modesta “no lo sé”, que entregarse a declaraciones fantásticas”*<sup>3</sup>.

## **Galileo y la Teoría de Copérnico**

La teoría geocéntrica de Ptolomeo quien nació en Egipto aproximadamente en el año 100 d.C. y murió en Alejandría en el año 170, describía un universo basado en el sistema descrito por Aristóteles en el que la Tierra se consideraba como el centro del universo y rodeada por otras ocho esferas. Estas ideas perduraron por más de 1400 años<sup>3,4</sup>. Sus obras principales fueron **El Almagesto y Gran Compilación**. Fue Nicolás Copérnico (1473-1543) matemático y astrónomo, hijo de padre polaco y madre alemana, quien se atrevió a ubicar a la Tierra no en el centro del universo, sino como una más entre las esferas que giran alrededor del Sol.

De hecho Copérnico encontró oposición tanto por parte de los científicos como de los eclesiásticos, ya que afectaba sus creencias humanas, de tomar al hombre como rey del universo. Hacia 1530 terminó un tratado en el que exponía su sistema y ese mismo año publicó un breve compendio en estilo popular. El Papa Clemente VII lo aprobó y le pidió que publicase la obra completa. El primer ejemplar impreso de su libro, Copérnico lo recibió en su lecho de muerte en 1543<sup>3</sup>. Una vez que Galileo se trasladó a Padua en 1592, le dedicó más tiempo a la astronomía.

Se enteró que un holandés había confeccionado unos vidrios que agrandaban los objetos lejanos. Muy pronto, en 1609 fabricó su primer telescopio. Cuando Galileo observó al cielo con este instrumento quedó asombrado de lo que veía, pues pudo mirar una gran cantidad de estrellas que a simple vista no veía.

Observó que la Luna no era lisa como se describía, sino que presentaba protuberancias como si fueran montañas y valles; lo que contradecía la tesis Aristotélica quien de acuerdo a su concepción exigía una perfección del mundo celeste, diciendo que los astros eran completamente esféricos. Los detractores de Copérnico sostenían que si Venus giraba alrededor del Sol, el planeta tendría que mostrar fases al igual que la Luna vista desde la Tierra en diferentes tiempos, y Galileo con su telescopio en 1610, pudo observar estas fases. La Vía Láctea la observó como un gran conjunto de estrellas y no como una nebulosa.

Tras varias observaciones con su telescopio, Galileo en 1620 descubrió cuatro satélites de Júpiter, lo que contradecía la creencia de que la Tierra era el centro del universo. Observó un anillo en Saturno, pero lo interpretó como si fueran tres estrellas<sub>1,3</sub>. Galileo observó las manchas solares, las que interpretó como nubes. Para dar a conocer sus descubrimientos, Galileo escribió en 1610 la obra **El mensajero sideral o mensajero de los astros**, la cual no tardó en hacerlo famoso. Esta obra se la dedicó al gran duque de Toscana. A pesar de todos estos hallazgos de Galileo, algunos profesores de la Universidad de Padua, donde él trabajaba, no quisieron dar crédito a estos descubrimientos y hasta se negaron a mirar el cielo con el telescopio<sub>1,2,3</sub>.

## **Galileo y la iglesia**

Galileo contaba con varios amigos de la Compañía de Jesús, llamándolo incluso uno de ellos, el más grande astrónomo de la época<sub>1</sub>. Galileo le mostró a los prelados y sabios de Roma los resultados de sus observaciones que revelaban manchas en el Sol. Johannes Fabricius ya había anunciado el descubrimiento de estas manchas en **De Maculis Solis**, sin que al parecer, lo

supiera Galileo, . Por otro lado, el jesuita Christoph Sheiner sostenía que había descubierto las manchas en 1611. Galileo afirmaba que las manchas solares las había observado en 1610 y que las había mostrado a algunos amigos, . La autoría de quien había sido el primero en observar las manchas solares, aunado al hecho que Galileo no tomaba las ideas copernicanas como una hipótesis, sino como algo probado por sus observaciones, creó un conflicto entre Galileo y los Jesuitas.

Debido a que Galileo defendía férreamente la teoría copernicana, la comunidad científica y filosófica romana se dividió en dos grupos: los detractores y los seguidores de Galileo. Los primeros, representados por los jesuitas que a pesar de haber aceptado los descubrimientos telescópicos, protagonizaron una dura batalla contra las interpretaciones de Galileo y en el segundo grupo estaban los de la academia de los Lincei a favor de Galileo, quienes también estaban ligados al poder político y religioso. La academia de los Lincei fue fundada por el príncipe romano Federico Cesi, en 1603, la que se convirtió en la primera sociedad científica de gran importancia, con un proyecto de radical renovación del conocimiento y a la cual pertenecía Galileo desde 1611, . Bajo sus auspicios, en 1613 se publicó la obra en torno a la Historia y demostraciones de las Manchas Solares, en donde Galileo le refutaba a aquellos que decían que las manchas solares eran un fenómeno extrasolar.

En 1615, la Iglesia le solicitó a Galileo que en sus publicaciones dijese que las ideas de Copérnico eran sólo una hipótesis, pero él no aceptó, más bien reiteró que la Tierra rota sobre su eje y gira alrededor del Sol. Ese mismo año, Galileo viajó a Roma para convencer a las autoridades de la Iglesia de la validez de la teoría de Copérnico, pero no lo logra, ya que la Iglesia sostenía que esas ideas no eran compatibles con la Biblia.

En el año de 1616, la Inquisición ordenó al cardenal Belarmino que citara a Galileo y que le ordenara ante notario que no enseñara ni defendiera las ideas copernicanas y que en caso contrario, lo encarcelara. Galileo se vio obligado a aceptar estas imposiciones y en marzo de 1616, el Santo Oficio publicó su histórico edicto: *“La opinión de que el Sol permanece inmóvil en el*

*centro del universo es estúpida, filosóficamente falsa y absolutamente herética, como contraria a la Santa Escritura. La opinión de que la Tierra no es el centro del universo y hasta de que tiene una rotación diaria es filosóficamente falsa y por lo menos una creencia errónea.*"<sub>1</sub>

Aunado a esto se prohibió la lectura y publicación de libros que defendieran la teoría copernicana y en el caso de la obra **De revolutionibus orbium coelestium** publicada por Copérnico en 1543, se prohibió el uso del libro, hasta que se le eliminaran todos los párrafos en donde la teoría se tomaba como un hecho. No fue hasta en el año de 1620 cuando se le permitió a los católicos que la leyeran nuevamente<sub>1</sub>. Con todas estas acciones habían triunfado los Jesuitas.

Galileo retorna a Florencia y en 1622 envió al Monseñor Cesarini en Roma el manuscrito del *Il Saggiatore* (El Ensayador) en la que rechazaba en la ciencia, toda autoridad que no procediera de la observación, la razón y el experimento. Los miembros de la academia de los Lincei hicieron algunos cambios en la obra de Galileo, con su consentimiento y así, Urbano VIII ordenó la publicación en 1623<sub>1</sub>. Con la elección del nuevo Papa Urbano VIII en 1623, quien en principio era un innovador y amigo de los amigos de Galileo, se crean nuevas expectativas para los partidarios romanos de la nueva ciencia, entre ellos, Federico Cesi y Giovanni Ciampoli. En 1624, Galileo partió muy optimista de nuevo para Roma con la esperanza de convertir al nuevo Papa, sin embargo, éste se negó a levantar el veto que en 1616 la Inquisición había pronunciado<sub>1,2</sub>.

En 1626, a raíz del nombramiento de Benedetto Castelli como matemático del Papa y del padre Niccolò Riccardi, como censor de imprenta, ambos discípulos de Galileo, éste se sintió nuevamente optimista y terminó una de sus obras más importantes, en la que hace una exposición de los sistemas de Copérnico y anticopernicano<sub>1,2</sub>. Obtuvo el permiso de impresión a condición de que el tema fuera tratado como hipótesis. Galileo publicó el libro en 1632, y fue revisado por una comisión designada por el Papa Urbano VIII, la que concluye que Galileo

no trataba el sistema copernicano como una hipótesis, sino como un hecho; y la inquisición prohibió su venta.

Ese mismo año se cita a Galileo, quien ya tenía 68 años, para que compareciera ante el tribunal inquisidor de Roma. Su hija quien era una monja, sus amigos y el gran duque le aconsejaron que se sometiera a la iglesia. Federico Cesi ya había muerto en 1630, lo que influyó a que el Papa Urbano VIII decidiera salvar su propio poder y persona, emprendiendo una batalla contra Galileo y sus seguidores<sub>1</sub>.

El 22 de junio de 1633, la Inquisición declaró a Galileo culpable de herejía y desobediencia, por seguir defendiendo las ideas copernicanas. Le ofreció la absolución a cambio de una abjuración plena; lo condenó a la prisión de este Santo Oficio por un periodo determinable a su arbitrio, y prescribió como penitencia la recitación diaria de los siete salmos penitenciales durante los próximos tres años. Lo hicieron arrodillarse y repudiar la teoría copernicana. La sentencia fue firmada por siete cardenales, pero no recibió ratificación Papal<sub>1,2</sub>. Se dice que al abandonar el salón del juicio, Galileo murmuró “*sin embargo, se mueve*”, mientras que otros consideran esto como una leyenda<sub>1,2,3</sub>.

En diciembre de 1633, se le autorizó trasladarse a su propia villa en Arcetri, cerca de Florencia y se le prohibió salir de su finca, pero podía continuar sus estudios, hacer publicaciones, recibir visitas y enseñar a sus discípulos<sub>1</sub>. Su hija, que era monja, se fue a vivir con él y se encargó de cumplir la penitencia de su padre recitando los salmos.

Su libro circuló por toda Europa. Posteriormente, resumió sus investigaciones en ***Diálogo y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias***, que para poder publicarlo en 1638, lo tuvo que pasar en forma clandestina de Italia a Holanda<sub>2,6</sub>. Aún en los últimos días de su vida, su mente estaba constantemente ocupada con problemas mecánicos y matemáticos. En 1637, justo antes que su vista comenzara a fallar, anunció su último descubrimiento astronómico

relacionado con las variaciones en la cara de la luna. En 1641, pocos meses antes de su muerte, explicó a su hijo un plan para hacer un reloj de péndulo. Al perder la vista en 1638, decía que nadie había mirado tanto como él. El 8 de enero de 1642, el mismo año en que nació Newton, a sus casi 78 años, murió Galileo acompañado de sus discípulos Viviani y Torricelli.

## **Después de la muerte de Galileo**

En 1822, a 180 años después de la muerte de Galileo, la Iglesia reconoció oficialmente que el Sol es el centro del sistema planetario y en 1835, la Iglesia permitió la lectura de aquellos libros de Galileo que había prohibido. Galileo había triunfado.

En el Concilio Vaticano II, durante los años de 1962 a 1965, algunos obispos hablaron del caso Galileo como una advertencia para que la Iglesia no se sobrepasase en sus atribuciones. En una de las intervenciones, el obispo Elchinger, en 1964, dijo: “Hace 400 años nació ese hombre encomiable y muchos científicos del mundo están celebrando su memoria, pero hasta el momento no se ha hecho ninguna reparación por aquella injusta y espantosa condena. En el mundo de hoy, los actos son más importantes que las palabras. La rehabilitación de Galileo por parte de la Iglesia, de manera humilde y apropiada, sería una acción elocuente”<sup>7</sup>.

En el centenario del nacimiento de **Einstein**, el Papa Juan Pablo II habló sobre el caso Galileo, en un discurso que pronunció en noviembre de 1979, ante miembros del colegio de cardenales y de la academia pontificia de las ciencias, quienes se consideraban los sucesores de la academia de los Linceos. El Papa comentaba que no se podía ocultar el hecho de que a Galileo le hicieron sufrir mucho los hombres de la iglesia y sus instituciones<sup>7</sup>.

Solicitó a los teólogos, a los científicos y a los historiadores que estudiaran a fondo el caso de Galileo y reconocieran imparcialmente los errores, independientemente de quien los cometiera, eliminaran de muchas mentes el obstáculo que este asunto sigue representando por alcanzar una concordia

fructífera entre la ciencia y la fe, la Iglesia y el mundo<sup>7</sup>. El discurso del Papa representó un reconocimiento a Galileo que otorga la Iglesia a este gran hombre de ciencia. En 1981, se establece la comisión encargada de revisar el caso Galileo y ésta le rinde un informe al Papa en 1992<sup>7</sup>.

## **El legado de Galileo**

Galileo nos deja el legado de descubrir y establecer el procedimiento para hacer ciencia. Los hechos se obtienen por observación o experimentación y se los acepta tal cual, con todas sus consecuencias inmediatas e inevitables. Ya no se deducen los hechos de una síntesis autoritaria y especulativa<sup>1,3</sup>. Fue Galileo el principal responsable de introducir los métodos experimentales y matemáticos en todo el campo de la Física. Insistió en la necesidad de hacer medidas sistemáticas del fenómeno estudiado de forma que se pudieran revelar las regularidades del mismo, de forma cuantitativa y pudieran ser expresadas posteriormente de forma matemática. Galileo es el primer científico en el sentido moderno de la palabra<sup>3</sup>.

Un buen ejemplo del método seguido por Galileo es el de su estudio del péndulo. Eliminando las variables secundarias que podrían afectar el período del péndulo, concluyó experimentalmente que el período de oscilación es independiente del arco descrito y proporcional la raíz cuadrada de la longitud<sup>1</sup>. Pudo luego reintroducir los factores previamente excluidos. Galileo tenía un buen control de variable en sus experiencias. Otro buen ejemplo de su método es el estudio de los cuerpos en caída libre, uno de los fundamentos de la mecánica del siglo XVII. Quizás, el máximo legado de Galileo como científico fue su *“método del cuestionamiento”*.

Suponía que la naturaleza era matemática. Fue él quien suministró el concepto de movimiento sobre el que Newton y otros iban a edificar la mecánica clásica del siglo XVII. La obra de Galileo y de Kepler se ven culminadas solemnemente por la obra de Newton, quien naciera el mismo año de la muerte de este gran hombre que hizo tanto por la ciencia, Galileo Galilei.

## **Bibliografía**

1. Banfi, Antonio. Vida de Galileo Galilei. Editorial Alianza. Madrid 1967.
2. Crombie, A. C.. Historia de la Ciencia. De San Agustín a Galileo. Editorial Alianza. España. 1983.
3. Dampier, William. Historia de La Ciencia y de sus relaciones con la Filosofía y la Religión. Editorial Tecnos S.A.. Madrid. 1972.
4. Durant, Will; Durant, Ariel. La Edad de la Razón, Sus Comienzos, Editorial Sudamericana. Buenos Aires Tomo II. 1964.
5. Michael, Sharratt. Galileo, El desafío de la Verdad. Ediciones Temas de Hoy. España. 1996.
6. Moore, Pete. Las Grandes Ideas que formaron nuestro mundo. Ediciones Lisma. España. 2003.
7. Sarton, George. Ensayos de Historia de la Ciencia. Editorial Hispano Americana. México 1968.

# Lo Bueno, lo Malo y lo Feo de Isaac Newton

Pablo Martín Weigandt Beckmann

## Lo Bueno

### Nació Isaac

Isaac Newton nació en Inglaterra, en un pueblito llamado Woolsthorpe, en diciembre de 1642 del calendario antiguo y enero de 1643, del moderno; el mismo año que murió Galileo, uno de los grandes que precedió a Newton. A los doce años lo mandaron a estudiar a la escuela en Grantham en donde estuvo internado, a pesar que se encontraba a tan sólo unos trece kilómetros de su casa. A los dieciocho años, se convierte en estudiante del “*Trinity Collage*” de Cambridge, institución académicamente prestigiosa. Desde un principio se interesó por la geometría y la matemática, influenciado por los trabajos de grandes pensadores como Euclides, Descartes, Kepler y otros. Aborda los temas a los que se pudieran llamar la mecánica y la óptica de la época; estudia los trabajos de Galileo, Fermat, Huygens y otros. Comienza entonces a contribuir al desarrollo de la matemática, la óptica y la mecánica.

### La matemática

Isaac es uno de los creadores del cálculo *diferencial e integral*. Su método llamado por él “**de fluxiones**” es el equivalente moderno del cálculo, tan ampliamente usado en la ciencia y la tecnología. Su método de fluxiones se inspiraba en el convencimiento de que la integración de una función es simplemente el proceso inverso de diferenciarla. Tomando a la diferenciación como operación básica, Isaac produjo métodos analíticos sencillos que unificaban diversas técnicas desarrolladas con anterioridad y

aparentemente no relacionadas que se usaban para resolver problemas tales como encontrar áreas, tangentes y longitudes de curvas y los máximos y mínimos de funciones. Todo esto se resume en su obra **De Methodis Serierum et Fluxionum**. Además, Isaac aborda el problema del teorema del binomio y desarrolla en gran medida la geometría.

## **La luz**

En el campo de la óptica, Newton dio una visión diferente de la naturaleza de la luz. Se creía a la luz blanca o solar como una entidad única. Las aberraciones cromáticas en el lente de un telescopio convencieron a Isaac de lo contrario. Cuando hizo pasar un rayo de luz solar a través de un prisma, notó que se formaba un espectro de colores. Argumentó entonces, que la luz blanca era en realidad una mezcla de diversos tipos de rayos que son refractados con ángulos ligeramente diferentes y que producen así un espectro de colores. De aquí, llegó a la conclusión errónea de que un telescopio que usase lentes refractantes siempre sufriría de aberración cromática. Fue así que dispuso y logró construir un telescopio reflectante usando espejos. Isaac fue elegido miembro de la Real Sociedad de Inglaterra luego de haber donado un telescopio reflectante.

Newton notó que la percepción del color de un objeto dependía del tipo de luz que llegaba a él. Por ejemplo, una manzana tiende a reflejar el rojo en un espectro completo de luz. Como Isaac señaló, no tiene ninguna utilidad pensar en la manzana como roja, porque todo cuerpo puede parecer de cualquier color controlando la luz que refleja. Si bien, su explicación no era muy precisa, introducía definitivamente el concepto de absorción y emisión de la luz por los cuerpos. Newton es también la primera persona en la historia que descifró el enigma del arco iris cuando aplicó sus conocimientos de refracción a las gotas de agua en el aire. Se creía que el arco iris estaba formado por cinco colores. Fue Newton en su **Armonía de los Colores** que determina que había siete colores asumiendo erróneamente que, tal vez, los colores son algo análogo a concordancia entre sonidos. Así, Isaac agregó el anaranjado y el indigo para que el número de

colores del arco iris concordara con los tonos de la antigua escala musical griega. Esto último por supuesto no es ningún aporte a la ciencia y quizá no tenga nada de bueno, pero es, definitivamente, un dato curioso digno de ser comentado, y que ilustra cómo incluso un genio como Newton, relacionaba cosas y llegaba a conclusiones que, en la actualidad, para el mundo científico, no tienen la más mínima cabida.

Isaac fue partidario de la naturaleza corpuscular de la luz. Al ver la luz como partículas viajando en el espacio, explicaba la trayectoria rectilínea de los rayos de luz y concebía a los colores como partículas de luz diferentes. Esto guarda estrecha relación con la concepción actual corpuscular de la luz. Su trabajo sobre estos temas se resume en su gran obra **Opticks**.

### **La mecánica: su máxima contribución**

Es sin duda en la mecánica en donde Isaac hizo su más grande aporte a la humanidad plasmada en su más grande obra y una de las más grandes de todos los tiempos: **Principia Mathematica Philosophiae Naturalis**. Allí, Isaac describe por medio de la geometría los fundamentos de la hoy conocida como mecánica clásica o newtoniana, que si bien es en la actualidad una teoría restringida, tiene total y absoluta validez en su dominio de aplicación. Lo medular en su trabajo fue el establecimiento de la llamada ley de gravitación universal y las célebres tres leyes de Newton.

Isaac analizó el movimiento de los cuerpos con y sin medios resistivos bajo la acción de las fuerzas centripetas. Sus resultados se aplicaron a las órbitas de los cuerpos, proyectiles, péndulos y cuerpos en caída libre cerca de la Tierra. Demostró luego que los planetas eran atraídos por el sol por una fuerza que variaba con el inverso del cuadrado de la distancia y generalizó el hecho de que todos los cuerpos celestes se atraen entre sí.

Generalizaciones posteriores llevaron a Isaac a descubrir la ley de gravitación universal: Toda materia atrae a otra materia con una fuerza proporcional al producto de sus masas e

inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. De esta forma, pudo explicar gran cantidad de fenómenos que hasta el momento parecían no estar relacionados: la excentricidad de la órbita de cometas, las mareas y sus variaciones, la precesión del eje de la Tierra y el movimiento de la Luna por la perturbación de la gravedad debida al Sol, entre otros. Por medio de las hoy llamadas Leyes de Newton, Isaac estableció los fundamentos de la mecánica.

La Primera Ley: *“Todo cuerpo continúa en estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta a no ser que una fuerza externa actúe sobre él”*. Aquí se trata de introducir los sistemas inerciales de referencia bajo los cuales se cumplen los principios de la mecánica. En un sistema inercial, en ausencia de fuerzas, un cuerpo se mueve a velocidad constante.

La Segunda Ley: *“La tasa de cambio de la cantidad de movimiento es proporcional a la fuerza aplicada y se da en la dirección de la fuerza”*. Esta es *“la ley”*. La fuerza aplicada a un cuerpo es proporcional a la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento. El módulo de la fuerza aplicada a un cuerpo es directamente proporcional al módulo de la aceleración que esta fuerza produce, y la constante de proporcionalidad es la masa inercial del cuerpo; tanto la fuerza como la aceleración tienen la misma dirección.

La Tercera Ley: *“Acción y reacción son iguales y opuestas; es decir, cuando dos cuerpos interactúan, la fuerza ejercida por el primer cuerpo sobre el segundo es igual y opuesta a la fuerza ejercida por el segundo cuerpo sobre el primero”*. El módulo de la fuerza que un cuerpo ejerce sobre otro es igual al módulo de la fuerza que aquel ejerce sobre éste. Las direcciones de estas fuerzas son contrarias.

El trabajo de Newton lo convirtió en un líder en la investigación científica. Los científicos del viejo continente no aceptaban la idea de una acción o fuerza a distancia y seguían creyendo en la teoría de vórtices de Descartes en donde las fuerzas actúan por contacto.

## **Adiós Aristóteles**

La mecánica desarrollada en su obra fue tan clara y consistente que dejaba fuera, en principio, toda intervención divina. Luego hubo algunos cambios, pero estamos en la sección de "lo bueno". Quedaba así descartada de una vez por todas, la posición aristotélica de que la fuerza es la causa del movimiento y se llegaba al claro entendimiento que la fuerza causa cambios en el estado de movimiento.

Isaac Newton era protestante. Al volcarse al estudio de la Biblia en la etapa ulterior de su vida, escribió un comentario sobre el Apocalipsis y sostuvo que el Anticristo predicho en él era el Papa de Roma.

## **Lo Malo**

### **Otra vez la luz**

Su concepción de la luz como partículas tuvo su desventaja. En esos tiempos, dominaba la teoría ondulatoria de la luz, que explicaba satisfactoriamente una buena cantidad de fenómenos observados y que de hecho es correcta. La reputación de Isaac hizo que esta posición se abandonara por muchos años, quizá retrasando los avances en el tema. Hoy sabemos que la luz tiene lo que podríamos llamar naturaleza onda-partícula: es una onda electromagnética y también está formada por partículas de luz o fotones.

### **El tiempo, el espacio y la masa**

Aunque la mecánica newtoniana dentro de las restricciones pertinentes es una teoría acertada, Isaac asumió la existencia de un reposo absoluto y la independencia del tiempo con respecto al espacio. No dio señales de explicar la diferencia entre masa inercial y gravitatoria. Todo esto tuvo que esperar hasta la aparición de la Teoría de la Relatividad. Quizá todo esto no sea tan malo, pero desde aquellos tiempos hasta principios del siglo

pasado, las ideas del espacio y tiempo de Isaac y otros predominaron con tal fuerza, que fue muy difícil producir el cambio a teorías más generales y que explicaran mejor la naturaleza.

## **La Geometría y el Cálculo**

Isaac expone su teoría de la mecánica usando geometría, en lugar del flamante cálculo que acababa de inventar o descubrir. Isaac basó sus ideas de la mecánica en trabajos de grandes pensadores. Esto no tiene nada de malo, y de hecho Isaac lo reconoció públicamente diciendo que si él había visto más lejos que los demás, era porque se había apoyado en los hombros de gigantes; sin embargo, la excesiva fama y prestigio que Newton adquirió y que se preocupó por adquirir a través de su vida y en la historia, quizá hayan podido opacar a otros que también tienen el mérito.

Cito el caso, por ejemplo, de Galileo Galilei, que fue quizá el primer científico desde el punto de vista moderno.

## **El político**

Newton se las arregló siempre para sobresalir y obtener los beneficios que él consideraba merecer. No le gustaba en lo absoluto ser criticado y quizá por eso retrasaba tanto la publicación de sus trabajos, cosa que pudo haber retrasado también el avance de la física, la matemática y la ciencia en general. Isaac fue elegido presidente de la Real Sociedad y Caballero por la reina Ana. Fue nombrado Director de la Casa de la Moneda y terminó los últimos años de su vida cobrando impuestos.

## **La iglesia**

En la segunda edición de su célebre obra **Principia Mathematica Philosophiae Naturalis**, Isaac se las arregló para incluir a Dios en el baile. Incluyó la divinidad en su teoría, quizá debido a las presiones externas y tal vez también, por sus propias

creencias. Esto, por supuesto, en nada benefició al avance de la mecánica.

Isaac escribía de manera difícil de entender. Al parecer, lo hacía a propósito para limitar su grupo de lectores a aquellos más capacitados. Como la mayoría en la época, escribía normalmente en latín, lo que no justamente ayudaba a divulgar sus ideas.

## **Lo Feo**

### **El de pocos amigos**

El padre de Isaac murió poco antes que él naciera, y su madre se volvió a casar. Su infancia no fue tan fácil. Isaac era una persona muy retraída y de pocos amigos. Quizá su probable homosexualidad en una sociedad cerrada haya podido influir en su personalidad. Algunos consideran que pudo haber sufrido de una variante del autismo conocida como síndrome de Aperger, cuyos síntomas son intereses obsesivos, dificultad en tener relaciones sociales y problemas de comunicación.

### **Las disputas**

Isaac sufrió ataques fuertes de depresión, por lo menos en dos ocasiones, que lo llevaron al borde de la locura. Isaac se peleaba a menudo con sus colegas. Una de las disputas más famosas fue con Leibnitz, matemático alemán que casi simultáneamente concibió el cálculo diferencial e integral, usando una notación que fue posteriormente conservada y que es actualmente utilizada. Otro de sus rivales famosos fue Hooke. Claro está que, en principio, no se le puede adjudicar la culpa completa a Newton. De hecho, en más de una ocasión reconoció el aporte de sus padres.

### **El enfermo y el muerto**

Aparentemente Isaac no tuvo mucho éxito como profesor. Sus clases no eran del agrado generalizado. Pudo haber

influenciado, quizá, el hecho que era tartamudo.

Como a muchos les pasa, a edad avanzada enfermó, sufrió y murió. Esto sucedió el 20 de marzo de 1727.

## Bibliografía

1. BOYER, C.B. Historia de la matemática. 1ª edición. Madrid. Alianza Editorial, S.A. 1986
2. COHEN, I. Bernard. La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas. Madrid. Alianza, 1983. Ed. orig. The Newtonian Revolution. Cambridge University Press. 1980.
3. COLLETTE, J.P. Historia de las Matemáticas. 1ª edición. Madrid. Siglo XXI de España Editores, S.A. 1985.
4. MANUEL, Frank E. The Religion of Isaac Newton. Oxford: Clarendon Press. 1974.
5. NEWTON, Isaac. Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. Ed. Crítica a cargo de Alexandre Koyré y I. Bernard Cohen, 2 vols., Cambridge : Harvard Univ. Press.1971-1972.
6. REY PASTOR, J., BABINI, J. Historia de la Matemática. 1ª edición. Barcelona. Gedisa, S.A. 1984.
7. SNOW, A.J. Matter and gravity in Newton's philosophy. Londres: Oxford University Press. 1926.
8. Óptica o tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz. Ed. de Carlos Solís. Madrid: Alfaguara. 1977 (basada en la 4ª ed. inglesa de Opticks, Londres. 1730, y su reed., Nueva York. 1952, comparándose con las primeras ediciones, en particular la 2ª latina a cargo de Samuel Clarke. 1706).
9. Principios matemáticos de la filosofía natural. Ed. a cargo de Antonio Escohotado, Madrid: Editora Nacional. 1982 [trad. y ed. basada en la ed. crítica de A. Koyré-I.B. Cohen (1971-1972) y en la ed. inglesa de Motte-Cajori (1934)].
10. "Quantum in se est: Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius", en Notes and records of the Royal Society, XIX, 1964.
11. The Wall Street Journal Bookshelf, February 19, 1998

pág. A20.

12. Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.  
[Http://dibinst.mit.edu/BURNDY/Collections/Babson/OnlineNewton/Principia.htm](http://dibinst.mit.edu/BURNDY/Collections/Babson/OnlineNewton/Principia.htm).  
Burndy Library. Dibner Institute for the History of Science and Technology.

# Al voltear la Página de la Síntesis Einsteiniana

Julio César Garrido

Departamento de Física Universidad de Panamá

## *I*ntroducción

Algunos primeros pasos de la relatividad por nuestro país no fueron precisamente los de la visita de Einstein por el Canal de Panamá, sino el eco de la llegada de Einstein a Estados Unidos, a Princeton, en octubre de 1933, el que se sintió en todas partes del mundo. Más que una noticia, fue un acontecimiento que despertó la imaginación de un público, que como muchos otros públicos, parecen buscar respuestas sobre cómo suceden las cosas en el verdadero tiempo y cómo evolucionan en ese receptáculo que Newton consideró como un continente inmóvil, eterno e infinito (**Bunge M., 1983**), el espacio, pero que resulta ahora que dependen de las masas que nos rodean. Por esa fecha se da un giro en la actividad de investigación de Einstein, una vuelta a la página de la etapa más prolifera en descubrimientos y la continuación por la ruta de la búsqueda de solución del problema que más le preocupaba: la unificación en una sola teoría de la interacción gravitatoria y la electromagnética. Es un tema del cual conversaremos, quizás, en otra ocasión. Pero ello significó una ruta hacia cierto aislamiento. Nos interesa resumir en este trabajo, aspectos importantes de esta segunda etapa de su vida por las implicaciones que esto significa en materia de programas de investigación científica, y observar, a una centuria después, cuáles son los cimientos reales que ayudaron a construir y cómo su legado a las nuevas generaciones, se recibe en el marco de categorías físicas y filosóficas diferentes. Queremos denotar características de ese salto en el tiempo que dieron las proyecciones de imágenes de sus grandes aportes con sus cargas y descargas de místicas.

En 1979, año del centenario del nacimiento de este físico, se dio un debate mundial sobre su obra que fue de magnitudes realmente considerables. Algo interesante del caso es que se

efectuó una revisión de ciertas tesis polémicas que fueron enunciadas por él. Sin ánimo de enumerarlas, apuntalamos aquellas contribuciones, como la de la emisión de radiación real e incontrolable que emiten ciertos átomos denominada correctamente emisión espontánea, expuesta por él en 1917, que luego se reveló fundamental para el avance de técnicas como el láser, invento que entró en nuestras vidas al inicio de los años sesenta y que hoy lo usan los maestros y conferencistas para señalar con un puntito rojo en el tablero el curso de su discernimiento. Comentemos que al analizar estos procesos de radiación, se buscaba más bien relaciones de equilibrio para entenderlos mejor, pero Einstein, de forma inesperada y sencilla, mostró que estas servían para reconstruir el comportamiento dentro de un cuerpo cerrado con paredes perfectamente reflectantes (como las de los viejos termos) de lo que se denomina la radiación del cuerpo negro. Claro que Prokhorov Alexander, Charles Townes y Nicolai Basov no obtuvieron el Nobel de 1964 por simplemente reproducir esta explicación; sin embargo, el germen de las radiaciones espontáneas enriquecidas, que están a la base del rayo láser, ya estaba en aquella idea de Einstein. En un salto de casi medio siglo, en forma amplificada y con nuevas aristas, se materializa una idea, un hecho que resultará frecuente en su trayectoria de vida.

Repito, esta revisión centenaria de su nacimiento, dio origen además a la retoma de una serie de problemas que sólo aguardaban el perfeccionamiento tecnológico para escudriñar más a fondo, el proceso natural en la búsqueda del conocimiento. Si un descubrimiento basado en sus teorías había sido comprobado experimentalmente, ahora, en las últimas décadas, la ciencia se sumergía en sutilezas y refinamientos sobre las mismas experiencias que, al verse en detalles, fueron revelando nuevos descubrimientos, ya no de Einstein, pero sí basados en los fundamentos que creó para la disciplina. Esto le sucedió, en su momento, a Newton, a Maxwell y a otros, pero es nuestro interés remarcar las nuevas fumarolas que salen de las entrañas de los formulismos que fueron planteados en el inicio del siglo pasado y que de las bifurcaciones de pensamiento se fueron generando nuevas corrientes y aristas en lo relativo a la interpretación de la realidad.

## **Cinco trabajos que conmovieron la Física**

Físicos de importancia se vienen manifestando, en este año de la física, con relación a la intensidad de la creación científica de Einstein en 1905, quien escribió allá en su pequeña Oficina de Patentes, cinco trabajos que marcaron época y desembocaron en una nueva física. Queremos, simplemente resaltarlos, sin entrar en ningún detalle de estos trabajos. Estos fueron concebidos cuando tenía 25 años y escritos en sólo 8 meses de ese año. Quizás como dice el Nobel Gerard 't Hooft “los trabajos de Einstein surgieron no por la dificultad, sino porque nadie en ese tiempo pensaba las cosas de la manera como él lo hacía” **(Mathew Ch., 2005).**

En marzo, expuso su trabajo sobre el denominado efecto fotoeléctrico que, como lo dice el término, describe el efecto de la luz sobre la superficie de los metales provocando una corriente eléctrica adicional y que usted puede encontrarle aplicaciones (en un tiempo se usó mucho para abrir y cerrar puertas, por ejemplo). Este descubrimiento que logró con ideas sencillas es enorme, porque usó un enfoque diferente de la muy importante y establecida teoría electromagnética. Ya el efecto se conocía, pero no el porqué. Parecía un tema técnico, pero el punto revolucionario fue el haber aceptado que la luz no sólo son ondas electromagnéticas, sino que también tiene características corpusculares, por tanto, es dual. Así, la supuesta dicotomía que se discutía en la época entre atomismo y energetismo no parecieran ser una contradicción a pesar de que se pensaba que ello era físicamente incongruente. Más aún, el físico alemán Max Planck, en 1900, había descubierto los cuantos de luz, primer gran paso hacia la teoría cuántica: paquetes de energía, una suerte de partículas que luego se llamarían fotones. Pero fue Einstein quien reconoció en forma firme y convencido que los fotones tenían realidad física objetiva y que, como tal, podían colisionar con átomos y extraerles electrones cual bolitas de billar absolutamente reales y tangibles. Ello requería un salto mental, pues se introducía la dualidad, la existencia dual de una onda como las de Maxwell y, simultáneamente, un chorro de fotones que se mueve en el vacío, algo difícil de concebir por los

físicos de la época.

En abril, completó el cálculo del número de Avogadro (una constante sobre el número de moléculas por una unidad convenientemente escogida de toda materia) y, además, pudo calcular el tamaño de las moléculas, propiedades moleculares esenciales. Estos resultados, curiosamente, tuvieron mucha más resonancia que los de la relatividad y el propio efecto fotoeléctrico. Claro, la configuración de la fuerza del atomismo aumentaba su vigencia en el pensamiento de ese inicio de siglo, pero esta vez, con matices más cercanos a una visión ondulatoria de los fenómenos físicos. El ciclo se dio entre la supremacía de las ondas y luego de la materia y de regreso al energetismo por la vía de sus exponentes máximos: Descartes, Newton, Fermat, Mapertius, Fresnel, Maxwell, Dalton, Frauhoffer, los que se alternaban entre las dos visiones que parece que ya requerían de una unidad o la exclusión de una de las dos. Ello explica la importancia de estos trabajos de abril. Además, el abordaje de estos temas reflejaba la preocupación por la llamada mecánica estadística, una rama de la física que emergía con firmeza y de suma importancia para el estudio, entre otros, de los sistemas de muchos cuerpos (gases, sólidos, líquidos, etc.). La inquietud de Einstein sobre este tema llegó tan lejos como para haber descubierto, junto con el físico indú Bose, la naturaleza estadística de los llamados bosones cuya forma condensada fue establecida hace sólo un par de años y que llevó al Nobel a tres físicos de la actualidad (**Ketterle W. et al. 2002**). Hubo que esperar más de 60 años para poder ver y “tocar” un gas de bose-einstein condensado en estado puro, una proeza experimental ejemplar, pues no gastaron altos recursos y pusieron al día una “vieja” solución einsteniana. El mismo mes de abril de ese año 1905, salió a la luz su trabajo sobre el llamado movimiento browniano que describe, como el mismo Einstein dice, el movimiento de pequeñas partículas suspendidas en una superficie líquida quieta (como las partículas de polen sobre aceite observadas por el cura Brown. La dinámica de este movimiento requirió una acuciosa elaboración teórica por su parte.

Aunque salió a la luz en enero de 1906, el trabajo de apenas dos páginas sobre la equivalencia entre masa y energía, sólo tuvo repercusión posteriormente. Quizás, como dice el Nobel Wilczek “la teoría especial de la relatividad culminante en la predicción de que la masa y la energía pueden transformarse una en otra, es uno de los más grandes logros de la física” (Mathew, 2005).

## **Einstein entra en la iconografía**

Con el artefacto nuclear cambiando trágicamente, la historia de vivos y muertos se generó al comienzo de la guerra fría; el mito de que la relación entre masa y energía (que hoy tiene extraños visos comerciales)  $E = mc^2$  (Einstein A., 1965) fue el fundamento práctico de su construcción y, para colmo, la prensa lo metió en Los Álamos, sitio de ensamblaje de la bomba, con sus herramientas como constructor del terrible artefacto. Aunque el pacifismo de Einstein era hartamente conocido, ciertas ingenuidades hicieron de esta fábula una de sus grandes virtudes, que hoy, aún, escuchamos en pasillos y plazas, producto de su iconografía.

La idea de Einstein como icono (Barrow J. D., 2005) ha sido señalada con acento en este año de la física: sin publicista, sin internet, sin televisión, autor de teorías sobre las cuales sólo un puñado de especialistas entendía (y eso que usó palabras familiares como masa y energía con un contenido nuevo), aislado en Princeton, y las guerras de por medio han mantenido inamovible el carisma que tiene ante el público de los diferentes países. Newton, después de su obra cumbre, **Principia**, pasó por la Corte inglesa como Tesorero; por su parte, el gran Maxwell quedó mezclado con otros como Boltzman, sufriendo inclusive el olvido, por parte de la ciencia, de su fundamental contribución a la llamada termodinámica estadística. Y Darwin, que logró un espectacular impacto sobre sus contemporáneos por lo intuitivo de su descubrimiento, quedó sumido en posteriores polémicas relacionadas con el secularismo y la relación de la humanidad como miembros del reino animal. Resulta significativo que hoy, la polémica sobre nuestra relación con el “mono” se dé en algunos Estados de norteamérica. Ellos son grandes pilares de la

ciencia, pero la iconografía de Einstein parece inamovible, incluyendo a los jóvenes de hoy. Esta es una fenomenología que debe caer en algún concepto moderno que quizás sea la psicociencia de la realización del mito. Se dio el caso que el **New York Times** en cierto momento publicó, a páginas completas, un artículo sobre la llamada teoría de la gravitación (o teoría general de la relatividad) con todo el paquete de fórmulas sensoriales para el consumo de los curiosos lectores ciudadanos, algo que fue muy bien apreciado por el público (desconocemos el porqué).

La publicitada comprobación en 1919 de una de las inferencias de su teoría de la gravitación por astrónomos ingleses, cual es la desviación de los rayos de luz por el sol durante un eclipse, pudo haber puesto esta tónica de fama, pues la primera guerra recién había terminado llevando la patria del científico alemán la peor parte y había que alzar la ciencia por encima de las miserias de la guerra. Después de su muerte en 1955, Einstein se convierte en epitome de la inteligencia en general (**Barrow J, 2005**) y, en contrasentido de su personalidad, deviene un objeto comercial, tal es así, que hoy la Industria Einstein está más fuerte que nunca. Signos que indican que hasta el brillo de una creatividad genial se puede convertir en una mercancía, lección que no puede dejarse pasar inadvertida en una sociedad donde el denominado libre mercado puede abarcar espacios y tiempos de complejidad, que la ciencia no podrá explicar con las teorías del siglo pasado.

### **Cuando la objetividad y el realismo condenan a la incompletitud su propia germinación teórica.**

Poincaré (**Poincaré H., 1977**), matemático y físico, considerado como un convencionalista, afirmaba que *“el sentido del tiempo se reduce a una constante asociación entre ciertas sensaciones y ciertos movimientos o a la representación de esos movimientos es decir, la representación de las sensaciones que lo acompañan”*: palabras dichas hace un siglo. Por otra parte, pensadores como J. Merleau-Ponty, Ernst Mach o Kant, todos a tiempos diferentes, estaban ligados a la premisa de que la teoría de la

medida no es separable de la teoría física. El medir es introducido en las teorías: el objeto y el instrumento son convertidos en algo indivisible. Este tipo de razonamiento literalmente estalló desde 1925 con la interpretación de la teoría del micromundo por la Mecánica Cuántica: *“sólo podemos observar lo que nuestros instrumentos pueden medir”*. Los grandes personajes de esta visión convertida en escuela, la llamada Escuela de Copenhague, fueron nombres de primera como Werner Heisenberg, Niels Bohr y Max Born.

Por el contrario, para los partidarios de la objetividad: *“la crítica de la simultaneidad (concepto básico en la teoría de la relatividad) es el centro de análisis que hace Einstein del significado de la medida del tiempo...es entonces el estatus de las leyes físicas, lo principal, como se entiende del enunciado del principio de relatividad” (Michel Paty, 1979)*. Einstein fue taxativo ya en 1935, cuando planteó que *“si, sin perturbar de alguna manera un sistema físico, nosotros podemos predecir con certeza el valor de una cantidad física, entonces existe un elemento de la realidad física que corresponde a esa realidad física”*, término que le daba fuerza a su realismo. La interrelación entre observador, instrumento y objeto es un tema de discusión, aún hoy, de la mecánica cuántica. John Archibald Wheeler, un célebre físico norteamericano, despidió el siglo XX reafirmando su idea de la inseparabilidad de estos tres elementos.

En las inferencias de los trabajos de Einstein sobre el desarrollo de la física a fines de siglo XX, tomaremos particular interés en el caso de sus contradicciones con la mecánica cuántica a la que contribuyó a germinar en su génesis en uno de los 5 artículos de 1905, cuando le dio solidez a la teoría del fotón que aplicó al efecto fotoeléctrico y por la cual obtuvo el Nobel de 1921. Estamos interesados en puntualizar estas influencias, no precisamente telenómicas de Einstein, en algunos aspectos del desarrollo de la teoría cuántica y por eso, es que llamamos la atención sobre un trabajo que desarrolló en 1935 junto a sus colaboradores Boris Poldosky y Nathan Rosen, estando ya en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton que luego se denominaría la paradoja EPR.

Daremos sólo un esqueleto de explicación, dejando toda matemática fuera. Supongamos que tenemos un par de partículas, inicialmente juntas, que son emitidas por una fuente (por ejemplo, un electrón E y su antipartícula el positrón P). Esperamos que ellas se encuentren alejadas una de la otra lo suficiente, de tal manera que contemos con que una no pueda influenciar apreciablemente a la otra. Ahora, si efectuamos una medida sobre E, se pueden extraer conclusiones válidas sobre P y nadie puede, según este esquema, pensar que al observar E podemos modificar P de alguna manera.

Pero, por otro lado, la teoría cuántica afirma que midiendo la posición precisa de E, se puede decir *“inmediatamente”* la posición de P. Y lo mismo podemos decir de otras características como la velocidad. Aun si usted deja pasar un largo tiempo, se puede deducir la posición de P al medir la posición exacta de E. ¿Qué pasa si usted cambia de idea y mide en un segundo día la velocidad de P y no su posición como lo había hecho antes? Esto llevará a deducir la velocidad de E en forma precisa e inmediata sin medir P. Pero esto significa que se decide al azar, cuál de las variables de E queremos medir con exactitud. El EPR sostiene que es ilógico que, al medir una u otra variable, sepamos, por deducción de la mecánica cuántica, que las dos variables que definen la partícula P deben ser precisas, como si la precisión dependiera de nuestra voluntad. He aquí el dilema según el EPR. Esto no concuerda con lo establecido por Heisenberg quien probó que la velocidad y la posición de una partícula no pueden ser medidas con exactitud simultáneamente.

Siempre hay que repetir que este descubrimiento de Heisenberg vino a descontrolar todo lo relativo al determinismo de Laplace. Y si este principio se viola, aunque sea de cierta manera, de este hecho el EPR concluye la *“incompletez”* de la mecánica cuántica, es decir, que ésta, independientemente de sus éxitos, era una teoría incompleta. (luego diremos un par de frases sobre la respuesta Bohr, quien liderizó contundentemente la solución de las paradojas tipo EPR).

Estos experimentos, conocidos mentales, despertaron una enorme discusión sobre los fundamentos de la mecánica cuántica. Y en esta polémica, con sus cuestionamientos agudos, es justo insistir (**Laloe F, 1981**) sobre el rol esencial, si bien indirecto, que jugó Einstein en la elaboración de nuevos conceptos. Se acopió una de sus frases que caracterizaba su realismo: *“Cualesquiera que sea el significado del término completo, la condición siguiente parece necesaria que debe cumplirse por una teoría completa: todo elemento de realidad física debe tener una contrapartida en esta teoría física”*. Luego iría más allá y agregaría que *“los elementos de la realidad física no pueden estar determinados por consideraciones filosóficas a priori, sino que deben ser encontrados por referencia a los resultados de las experiencias y de las medidas...”* evitando reduccionismos de tipo filosófico. Por eso, agregó la afirmación de que *“si, sin actuar de ninguna manera sobre un sistema, podemos predecir de manera certera el valor de una cantidad física, entonces hay un elemento de realidad física que corresponde a esta cantidad física”*. Los resultados que se obtienen instantáneamente de la medición de una propiedad de uno de los dos cuerpos por deducción de la teoría cuántica deben contener un elemento de la realidad física que se corresponde objetivamente con esa cantidad.

El realismo de Einstein se deslinda de aquí, así como su convicción sobre la objetividad de la realidad física. La polémica gravita entre otros, sobre cómo veían el resto de los actores, a favor de la interpretación probabilística, esa misma realidad física, ya que las predicciones de la mecánica cuántica concernientes a los resultados de las medidas y sus probabilidades son consideradas exactas. Al analizar el problema de la completez de esta teoría, se entra en un cuadro más rico y, quizás en un número mayor de elementos de la realidad física, por ejemplo, los conceptos de separabilidad, localidad, indeterminismo que entraron a fin de siglo XX con nuevos significados y en nuevos contextos.

El postulado de localidad o separabilidad einsteniana afirma que la evolución de una cantidad física en un punto del espacio sólo depende de los valores de esa cantidad en ese punto y no de

otra cosa. Por lo que un fenómeno no puede venir de lejos a perturbar este punto de una forma más rápida que la luz, ya que contradice la teoría de la relatividad. La cuántica, simplemente, no lo ve así. Un intercambio epistolar entre Einstein con los partidarios de la no-separabilidad se dio durante años y alimentó el fuego de la polémica.

Es por ello que llamamos especial atención sobre la paradoja y sus consecuencias. Así que invitamos a ver un par de detalles adicionales en cuanto al comportamiento de un sistema físico compuesto de las partículas E y P. Si a cada una le damos ahora dos valores alternativos como en un buen experimento tipo EPR (SI o NO, también +1, -1, ó si gusta +1/2, -1/2, son algunas preferidas por los autores), resulta que el estado general combinado del sistema de las dos partículas escogidas de forma muy simple no es un producto de un estado E por el otro estado P, sino que debe ser una superposición o una suma de estos productos. Aquí debe reconocerse como estado, la situación física de la partícula o la manera como la podemos describir físicamente de forma comprensible. Y por otro lado, la superposición no se refiere a que una situación se superpone a otra, sino que el comportamiento del sistema de partículas es una suma de cierta manera de partes siempre interrelacionadas entre sí. Se dice, entonces, que estos estados están ahora correlacionados, es decir, que guardan una relación entre los valores que lo definen. Este estado general lo podemos simbolizar en una suma de dupletas sencillas como:  $(E, +1/2 ; P, 1/2) + (E, 1/2 ; P, +1/2)$ . Un significado de esto lo vemos si jugamos con dos trompos de plásticos voladores de color diferente: el eje de un trompo rojo E marca  $\frac{1}{2}$  volando hacia arriba y  $1/2$  volando hacia abajo y lo mismo puede hacer un trompo azul P marcando lo contrario. Lo intrigante de la cuántica es que la situación de ambos trompos hacia arriba y ambos trompos hacia abajo no se puede dar si ambos coexisten, lo que no ocurre en nuestra rutina diaria clásica.

El asunto está en que si medimos E con el resultado  $\frac{1}{2}$ , entonces es el primer término de la suma que aparece lo que significa que P salta con  $\frac{1}{2}$  sin que usted lo haya medido ( igual que sucede con el segundo término de la suma que aparece si medimos E con el

resultado  $1/2$  saltando entonces,  $P$  a  $+1/2$ ). La partícula  $P$  no necesita estar localizada cerca de  $A$ ; puede estar a años luz, pero según la mecánica cuántica salta simultáneamente con la medida de  $E$  (**Penrose R., 1991**). Este tipo de situación puede ser caracterizado con un concepto como el de la no-separabilidad. Como si a grandes distancias  $E$  y  $P$  no pudiesen divorciarse con la agravante de que si algo le pasa a  $E$ , el objeto  $P$ , a lo lejos, sufrirá inmediatamente las consecuencias, las que serán inversas. Su desacuerdo con esta situación haría que Einstein la catalogara como "*acción fantasma a distancia*". Comentemos una (considerada por algunos como ambigua, pero correcta por la gran mayoría de los físicos) de las respuestas importantes que en su momento dio Niels Bohr a Einstein sobre la paradoja cuando afirmó que "*la cuestión esencial es aquella de una influencia de condiciones precisas que definen los tipos de predicción que se pueda hacer sobre la evolución del sistema...Estas condiciones constituyen un elemento inherente a la descripción de todo fenómeno, al cual se puede atribuir válidamente el calificativo de realidad*" (**Laloe F., 1981**). Al relacionar a la realidad, las condiciones de observación o toda descripción posible, podría Bohr estar acercándose al positivismo.

Clásicamente, a la Newton, sería muy sencillo: si usted saca de una caja en un cuarto oscuro, una de dos bolas, blanca o negra (por ejemplo blanca), otro observador que saque la otra bola observará cuando quiera, esté donde esté, que el color de su bola será necesariamente el negro. Nadie hablara de salto en la medición y tampoco se preguntará sobre una transmisión de influencia del color de una bola sobre la otra. Pero este criterio no funciona con las probabilidades aparentemente no locales que surgen de la mecánica cuántica. Como se puede ver, de lo expresado, lo que podemos llamar no-localidad, resulta de interacciones a distancias, fuera de influencias interactivas. La pregunta EPR es: ¿qué pasa con la causalidad si hacemos las mediciones cuando  $E$  y  $P$  están ya separadas? El comportamiento de  $P$  parece estar influido instantáneamente por la elección de la medida de  $E$ . Sin embargo, en 1964 J.S Bell estableció (un famoso teorema) unas desigualdades para poder poner a prueba y en forma concreta la paradoja, lo cual

trasladaba el problema al dominio de la comprobación experimental y no sólo de los recursos lógicos. Ahora, el asunto era contundente: Si no se cumplían estas relaciones, entonces la mecánica cuántica es correcta y Einstein no tenía razón. Se realizaron numerosos experimentos, la mayoría a partir de 1976, y absolutamente todos le dieron razón a la mecánica cuántica.

Después de años de discusión, los experimentos han resultado de acuerdo con la mecánica cuántica. Uno de los más famosos y determinantes lo realizó, en 1981, Alain Aspect con su equipo en París. Lo hizo con partículas que viajan a la velocidad de la luz, con los llamados fotones. Resultó de sumo interés el hecho de que las medidas sobre ellos se hacían luego que estos estaban separados, pues no había influencia local. ¿Qué hubo que proponer para salvar la causalidad? Se desechan mensajes no locales tipo EPR. Hay elementos del experimento que llegan instantáneamente de un cuerpo a otro, como por ejemplo, las direcciones de lo que se llama la polarización de la luz y luego llega la información sobre cuál de estas direcciones está polarizada, dos factores muy distintos.

Una experiencia tipo EPR reciente es la de Nicolás Gisin (**Farley V, 1999**) y sus colaboradores, consistente en enviar dos partículas (paquetes de luz) por fibra óptica (que sirven para las comunicaciones telefónicas urbanas) hacia dos ciudades de Suiza, Bernex y Bellevue, distantes nada menos que a 10 kilómetros. (¡Imagine un laboratorio que mida 10 kilómetros!). Mediante el intercalamiento en la trayectoria de la fibra de dos pares de espejos semirreflectores, espejos que dejan pasar la mitad de la luz, y un par de aparatos llamados de desfase (de amplio uso de la técnica) se midió la coincidencia de llegada en cada ciudad de cada partícula a detectar. Normal o clásicamente, debe haber una oportunidad sobre ocho para que ello ocurra. Pero conectando adecuadamente los desfasadores, la suerte de coincidencia varía ahora de cero a un cuarto cuando se le calcula usando la visión de la Escuela de Copenhague, o la mecánica cuántica. El resultado es completamente diferente a lo que se podría esperar usando una óptica común y corriente. Este resultado desafía abiertamente la física clásica y muestra que los fotones conservan una relación simultánea de

comunicación instantánea que, debido a los 10 kilómetros, pareciera sobrepasar la velocidad de la luz.

Estos experimentos muestran la existencia de lo que hoy se denomina entrelazamiento de partículas, término específico, de amplio uso en la literatura técnica de este siglo. Este fenómeno se refiere al hecho que afirma que las dos partículas conservan una relación causal, independientemente de la distancia que las separa, violando, aparentemente, la teoría de la relatividad que establece que la velocidad de la luz es el valor máximo de las comunicaciones. Sin embargo, se puede probar que, por la vía de este entrelazamiento, no se puede transmitir información. Hay, pues, todo un discernimiento actual sobre los conceptos que se inducen del EPR y que aparecen como un legado indirecto de Einstein: no-separabilidad, no-localidad, causalidad, entrelazamiento. Este tipo de experiencia ha abierto el camino a nuevas rutas en la física, cual testamento legado por las ideas hijas de Einstein, como, por ejemplo, la comunicación cuántica (que algunos le han dado el extraño nombre de teleportación cuántica), el encriptamiento y la computación cuántica en pleno desarrollo en la actualidad.

Existen teorías de otra naturaleza que intentan explicar la causa de la estocacidad en las existencias de variables físicas en el micromundo que se suponen desconocidas, las denominadas variables ocultas o parámetros escondidos, ocultos al nivel de descripción de la mecánica cuántica. Este tipo de objeto matemático busca explicar las probabilidades que resultan de las mediciones de los fenómenos cuánticos para hacerlas deterministas. Desde 1952, se dan estos intentos, como siguiendo los esfuerzos de Einstein de demostrar, como él decía, que *"Dios no juega a los dados"*. Físicos como David Bohm o el propio Louis de Broglie trabajaron bajo este paraguas. Una alternativa más reciente consiste en la llamada electrodinámica estocástica (**De La Peña L., 1991**) que combina conceptos muy físicos (como transiciones espontáneas, fluctuación de la radiación del punto cero, la estocacidad del movimiento electrónico) con los cuales logra obtener algunos resultados idénticos a los de la mecánica cuántica excluyendo las probabilidades. Hay que dejar constancia que parte de este tipo

de propuesta fue expuesta por Luis de la Peña hace más de una década, en la Universidad de Panamá.

Es de sumo interés, en lo que a las proyecciones de un cierto espíritu Einsteniano ( no tomarlo literal) se refiere, ¿cómo la pérdida de información (**'t Hoft G., 2002**) resulta el ingrediente esencial para los modelos determinísticos de variables ocultas que reproducen contextos como lo que hemos visto, una relación de no-localidad entre estados deterministas y estados cuánticos?. Sin necesidad de entrar en la teoría, llamamos la atención sobre el hecho de que la construcción semántica de este novísimo tipo de teoría, apela a los conceptos que se discuten en este escrito, independientemente de las teorías y los aportes einstenianos.

Quizás como alguien advirtió (**Hoffmann B, 1975**), con el uso de la frase *“Dios no juega a los dados”*, para rechazar el carácter probabilístico de la cuántica, tal vez, Einstein dejó pasar por alto las propiedades de la desintegración radioactiva o la emisión espontánea de los núcleos y átomos (que, como se vio, fue el primero en postularla) las que aún hoy no pueden ser reducidas a causas no probabilísticas y que él insistió en considerarlas sólo teorías provisionales. Pero para la escuela de Copenhague se trata de saber las probabilidades de ocurrencia tal como se da en la experimentación. Finalicemos comentando que la búsqueda de la naturaleza de la mecánica cuántica de nuestro Universo no cesa en lo que se refiere, no ya a construir modelos donde el comportamiento estocástico sea descrito por el modelo de Copenhague u otro mencionado, sino que requiere de una nueva causalidad a distancias de la escala de Planck (por allá por los inicios del Universo), lo que nos lleva, en términos de la física de hoy, a teorías físicas pre big-bang, las que podían no haber sido consideradas por nuestros actores, tanto de la cuántica del EPR, como de las variables ocultas. En estas distancias y tiempos, en el origen del Universo están los límites de aplicación de la física tal cual la conocemos, quedando reducidos a recomenzar a buscar nuevas teorías que sean válidas.

## **Bibliografía**

1. Barrow, John D. 2005. Einstein as icon. *Nature* 433 (218-219), January.
2. Bunge, Mario 1983. *Contraversias en Física*. Ed. Tecnos. Madrid.
3. De la Peña, Luis. 1991. *Introducción a la Mecánica Cuántica*. Ed. Científicas Universitarias. México.
4. Einstein, A. 1965. *Obras Completas*. Ed. Nauka. Moscú. (edición en ruso).
5. Farley, Vincent. 1999. Le paradoxe EPR. *La Revue Physique. L'attracteur*. No. 8
6. Hoffmann, Banesh. 1975. *Albert Einstein, créateur et rebelle*. Ed. du Seuil. Paris.
7. Hooft, Gerard. 2002. Determinism beneath quantum mechanics. *Conference Quo Vadis Quantum Mechanics*. Temple University. Philadelphia. September. ArXiv: quant-ph/0212095.
8. Ketterle Wolfgang, Cornell E.A., Weimar C.E..2002. Nobel Lecture. *Review of Modern Physics*. Vol 74.
9. Laloe F. 1981. *Cadre General de la Mecanique Quantique, les objections de Einstein*.
10. Mathew, Chalmers, 2005. Five papers that shook the world. *Physics World*, January, Vol. 18 No 1.
11. Paty, Michel. 1979. *Revue La Pensée*. Strasbourg.
12. Penrose, Roger. 1991. *La nueva mente del emperador*. Ed. Grijalbo Mondadori S.A.. Barcelona.
13. Poincaré, Henry. 1977. *Filosofia de la ciencia*. Ed.

CONACYT. México.

14. Poldosky et Rosen. Journal de Physique. Tom.42. Mars. Paris.

# La Historia de la Física en Panamá

Eduardo Flores Castro

Catedrático de Física de la Universidad de Panamá

*Ya* en el siglo XIX, el **Dr. Justo Arosemena** utiliza analogías de fenómenos físicos como la gravitación universal, el principio de inercia de Galileo y la caída de los cuerpos, para el estudio de fenómenos sociales. Como una muestra de esto, podemos citar la carta que le enviara a su padre Mariano Arosemena desde Bogotá, en donde, decepcionado de la poca moral de la capital neogranadina, hace alusión a la Ley de la Gravitación Universal y señala: ***“Sucede a veces con los objetos morales lo contrario de lo que pasa con los físicos: aumentan con la distancia”***. Es decir, que a medida que las poblaciones se alejaban de Bogotá, la moral de sus pobladores aumentaba.

Es un honor para los panameños y panameñas que, temprano en nuestra historia, estadistas como Justo Arosemena fueran conscientes del papel de la Física en el análisis y solución de los problemas de la sociedad.

## La Universidad de Panamá

La acumulación académica de las tres primeras décadas de República constituyó la masa crítica necesaria para la gestación de la **Universidad de Panamá**. Antes de la fundación de la Universidad, el **Dr. Octavio Méndez Pereira** gestiona la contratación del personal docente en el extranjero, que complementaria al que existía en el país. Así se contrató al Dr. **Daniel Q. Posin**, Físico de la Universidad de California, quien posteriormente llegó a ser el segundo Decano de la Facultad de Ciencias. Es relevante señalar que al día siguiente del

bombardeo atómico que realizó los Estados Unidos a Hiroshima y Nagasaki, en 1945, el Dr. Posin, profundamente abatido, escribe una carta desde el Instituto Tecnológico de Massachusetts a Einstein lamentando la masacre nuclear perpetrada contra Japón. En esta carta le pregunta: “¿**Qué cosa tenemos que hacer nosotros para que esto no vuelva a ocurrir?**”

Durante esta década, la Escuela de Matemática y Física de la Universidad de Panamá fue enriquecida con docentes panameños de muy alta formación académica. Entre ellos estaba el Físico **Bernardo Lombardo**, egresado de University of Berkeley en California.

Lombardo, después de graduarse en el Instituto Nacional, ingresó a la recién fundada Universidad de Panamá en el año de 1935, donde obtiene el Certificado en Pre-Medicina y el título de Profesor de Ciencias Naturales en 1939. Adquiere la Maestría en Física en la Universidad de Berkeley, y se convierte en el primer panameño en obtener un título universitario de Física. Realizó su investigación doctoral con la asesoría del connotado Físico Robert Oppenheimer. De regreso a Panamá, en 1945, realizó entrenamientos en técnicas de rayos X, aplicaciones de radioisótopos a la medicina y numerosos cursos sobre física nuclear y enseñanza de la física. Participó en el Primer Congreso Internacional de Átomos para la Paz en Ginebra, Suiza.

El profesor Lombardo fue electo Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia para el período 1957-1964. Fue electo Rector de la Universidad de Panamá en 1964 y reelecto en 1968, cargo que ocupó hasta cuando la Universidad fue cerrada, en 1969, por el gobierno militar. Hombre de mente amplia y progresista, preocupado por las nuevas generaciones y el desarrollo del país. Dirigió su Facultad y la Universidad con gran visión de futuro y conciencia social. Creó el Instituto de Estudios Nucleares; instaló el primer computador en Centroamérica y un sistema de circuito cerrado de televisión para dictar clases de Física en la Facultad de Ciencias. El profesor Lombardo lucha por crear conciencia de que la función del docente universitario no es sólo enseñar, sino también hacer investigación y extensión.

El Gobierno de Panamá le otorgó la Medalla Manuel José Hurtado; y la República de Francia, las Palmas Académicas. Murió en la Ciudad de Panamá el 13 de noviembre de 1982.

En el año 2004, la Sociedad Panameña de Física aprueba en Asamblea General, designar al Profesor Bernardo Lombardo como **Padre de la Física en Panamá**. Elige el **13 de julio** (natalicio del Profesor Lombardo), como el **Día Nacional del Físico**, y crea la **Medalla al Mérito Bernardo Lombardo**, la cual será entregada cada 5 años a físicos (as) panameños (as) que hayan hecho aportes al desarrollo de esta disciplina en nuestro país.

### **Los primeros graduados de Matemática y Física**

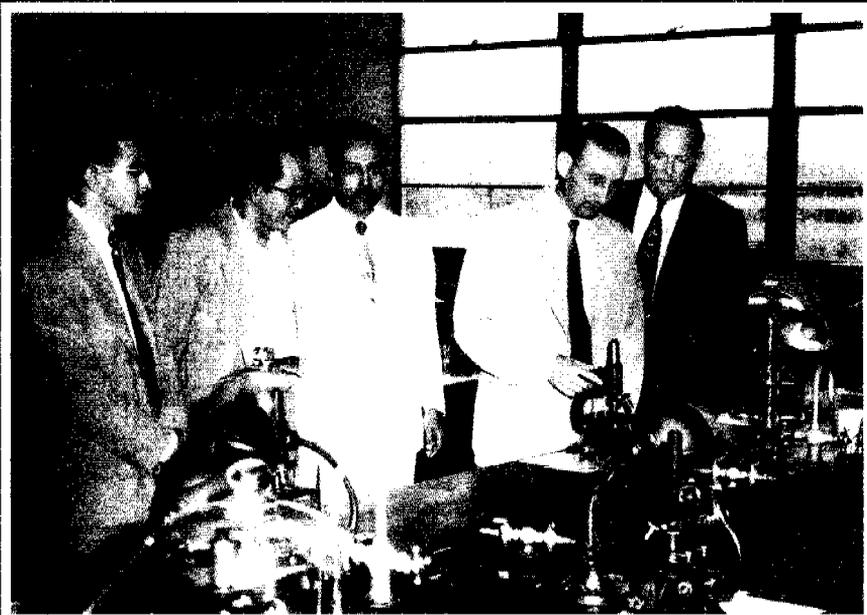
La primera graduación de Profesores de Segunda Enseñanza con Especialización en Matemática y Física se realizó en 1944. En esa fecha, la Universidad le concedió este grado a: Benigno Argote, Berta Zurita de Francechi, Josefa Lutrell y Ana Méndez.

Como en muchos países de la región, los ingenieros hicieron aportes significativos a la enseñanza de la Física. Este es el caso del Ing. Juan J. Amado, quien llegó a ser Director del Departamento de Física en la década de los 40.

En 1949, se produjo la primera graduación diurna de Profesores de Matemática y Física, integrada por: Vesta Patiño, Elisa Alonso, Zoraida de Anguizola, Aida Castiello, Rosina de Diez, Eduardo León, Ida Escalona, Cristina Espinosa, Demetria Segura, Viodelda Henríquez, Signey Jones, José Moreno, Rosario Pino, Eulogio Quintero, Helly de Quirós. Pio Zambrano y Eustorgio Zevallos.

Por iniciativa del Profesor Bernardo Lombardo, el 22 de enero de 1956 se fundó el Centro de Estudios Nucleares. En esta unidad se realizaron trabajos novedosos de investigación, tales como el estudio sobre el consumo de yodo y la incidencia de bocio en la comunidad de Peñas Blancas en la provincia de Los Santos. El actual Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares puede

considerarse como el heredero de este esfuerzo visionario del Profesor Lombardo. Junto a él, también contribuyeron al desarrollo de la Física en Panamá, los profesores Ernesto Richa, Simón Quirós y los hermanos Antonio e Isaías Mock.



*A la izquierda se aprecia al profesor Ernesto Richa y a su lado el Profesor Bernardo Lombardo, en uno de los laboratorio de Física de la Universidad de Panamá en 1960.*

El profesor Isaías Mock recibe el título de Licenciado en Matemática y Física en la Universidad de Panamá en el año de 1954. Ejerce la docencia en el Instituto Justo Arosemena, en el Colegio Abel Bravo y en el Instituto Nacional. Posteriormente, viaja a los Estados Unidos donde recibe el título de Master en Ciencias Físicas de la Universidad de Brown. De regreso a su patria en 1965, se incorpora a la docencia en la Universidad de Panamá. En ese mismo año es nombrado Director de la Escuela de Física, desde donde impulsa la separación de las Licenciaturas en Matemática y Física, instaurándose, por primera vez, la carrera de Licenciatura en Física.

A mediados de los sesenta, la comprensión de las funciones básicas de la Universidad y la importancia que para el desarrollo

nacional tiene la conjunción de la docencia, la investigación y la extensión, permitieron que la filosofía del proyecto estadounidense para la enseñanza media de la Física, denominado PSSC (Physical Science Study Commite), tuviese una acogida favorable. En este sentido, el Profesor Isaias Mock realizó cursos en Colombia para la implementación de este Programa en Panamá. Además, asistió a Trieste donde tomó cursos de física nuclear. Después de toda una trayectoria en el Departamento de Física en la Universidad de Panamá, en 1990 se acogió a la jubilación.

El Profesor Simón Quirós concluye, en 1965, la Licenciatura y la Maestría en Física en la Universidad de Oklahoma (E.U.A.). En 1965 se incorpora a la docencia en la Universidad de Panamá. Posteriormente, contribuye a la enseñanza de la Física en la Universidad Santa María la Antigua, en el Colegio La Salle, en el Instituto Fermín Naudeau y en el Colegio Artes y Oficio. El profesor Quirós ha sido Asesor Científico del Gobierno, Delegado de Panamá para la prohibición de armas nucleares en América Latina y Representante de Panamá ante el Organismo Internacional de Energía Atómica.

En la década de los 60, los profesores Sergio Guerra, Gilda Sánchez, Héctor Castillo, Diomedes Concepción y Ricardo Lajón contribuyeron de manera significativa a la divulgación de la física en nuestro país.

El profesor Sergio Guerra se gradúa en 1964 en la Universidad de Panamá de Licenciado en Matemática y Física, y tuvo maestros de la talla del Dr. Agustín Colamarco, Padre de las Matemática en Panamá; y el Dr. Bernardo Lombardo, Padre de la Física en Panamá. Posteriormente, realizó Estudios Superiores en la Universidad Científica y Médica de Grenoble, Francia, en donde tuvo como profesor al Premio Nobel de Física, Louis Neel. Su trayectoria como docente la inició en 1964, en el Colegio Félix Olivares y en el Colegio San Agustín. En 1966, se incorpora como Profesor en la Universidad de Panamá. El Profesor Guerra ha hecho grandes aportes al desarrollo de la Física a través de su participación en innumerables cursos, seminarios, investigaciones y publicaciones en el área de Física

Experimental, Enseñanza de la Física, Espectroscopía Mossbauer y en Física de la Atmósfera. Por sus méritos relevantes en el engrandecimiento de la Física en Panamá, la Sociedad Panameña de Física le otorga en el año 2005 la primera Medalla al Mérito Bernardo Lombardo, máximo galardón que se le otorga a un físico en Panamá.

## **Licenciatura en Física**

Es después del año 1965, cuando se brinda, por primera vez, la carrera de Licenciatura en Física de manera separada; y en 1970 se titula el primer licenciado en esta carrera; le correspondió este honor al actual docente universitario Alfonso Pino. A la fecha, la Universidad de Panamá ha entregado al país, aproximadamente, 100 Licenciados en Física con una excelente formación académica. Al inicio de esta década, también contribuyen a la divulgación de la Física, las jóvenes profesoras Matilde de Samudio, Etelvina Medina, Amalia de Rusnak e Irene Lombardo, esta última hija del Profesor Bernardo Lombardo.

La falta de profesores preparados para dictar los cursos de la nueva licenciatura era otra dificultad existente que se intentó superar enviando a estudiar al extranjero al personal que trabajaba en la Universidad. Se establecieron acuerdos con Francia para recibir profesores de física y matemática del servicio militar obligatorio francés y se asignaron becas a panameños para formarse en la república gala. Estas acciones son complementadas con el arribo al país de un grupo de jóvenes que había terminado sus estudios de Física en países europeos, la Unión Soviética y Estados Unidos.

## **La Física se fortalece**

En la década de los 70, regresó del extranjero un grupo de panameños con diferentes especialidades en el campo de la Física, quienes han jugado un rol importante en el auge de esta disciplina. Ellos fueron: Luis Calvo, Diana Chen, Víctor Urrutia, César Garrido, Juan Vicencini, Bernardo Fernández, Trinidad Montoya, Rogelio Medina, Néstor Sánchez, Orlando

## Concepción y Victoria Moreno.

En 1977, se cambió el programa de la Licenciatura en Física para adecuarlo a la naturaleza de la Física como ciencia experimental. Se definieron áreas de desarrollo y se impulsaron las labores de investigación en Física, lo que abrió el camino en estas áreas y fortaleció la investigación en la Universidad de Panamá.

Debido a las dificultades en la enseñanza a nivel medio, se organizó la Enseñanza de la Física como área de desarrollo. Además, nace el interés por las Técnicas Nucleares, la Geofísica, la Ciencia de Materiales, la Física Médica y por las energías alternas; y se constituyó la mayoría, en áreas de desarrollo. Recientemente se han iniciado trabajos en Física de la Atmósfera, relacionados con los estudios de la capa de ozono y la radiación solar.

En 1960, la Asamblea Nacional creó la Unidad de Isótopos Radioactivos bajo la dependencia de la Facultad de Ciencias, como primer paso para el desarrollo de estudios que utilizaran estas técnicas. El proyecto Espectroscopía Mössbauer iniciado en 1975 y financiado por la Organización de Estados Americanos, permitió al Profesor Juan Vicencini viajar a Brasil a estudiar esta especialidad. Posteriormente, esta área de desarrollo se fortaleció con algunos proyectos financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica y con la formación de especialistas en Francia, Hungría, Estados Unidos, España, Japón y Argentina. Este grupo desarrolló una investigación en coordinación con el Museo Reina Torres de Araúz, consistente en generar curvas patrones de parámetros nucleares de las cerámicas arqueológicas en función de la temperatura, para determinar las temperaturas finales de cocción de las cerámicas, información relacionada con el avance tecnológico de la cultura que elaboró el artefacto. En él, participaron los profesores Dr. Bernardo Fernández, Dr. Orlando Concepción, Dr. César Garrido, Sergio Guerra, Alfonso Pino, Néstor Sánchez, Eduardo Flores y Martín Acosta. En este proyecto, posteriormente, se incorporaron los estudiantes José Emilio Moreno, Alcides Muñoz, Eleicer Chin, y Carlos Samudio. Estos proyectos motivaron la especialización de jóvenes en Física Nuclear y abrió

el camino para el desarrollo de las Ciencias de Materiales.

Uno de los pioneros de la Geofísica en Panamá fue el Profesor Enrique Campbell, quien realizó los primeros estudios de prospección utilizando técnicas de la disciplina. Desde 1982, el grupo formado por los profesores Moisés Ortega, Alberto Caballero, Ricardo Bolaños, María Lezcano, Joaquín González, Jaime Blaney y Jaime Toral desarrollan el proyecto Modelo Hidrogeológico del Flujo de Agua Subterránea en la Región de Aguadulce, con el propósito de servir de apoyo a las campañas de exploración de aguas subterráneas en el área denominada el Arco Seco en la Provincia de Coclé. Otras investigaciones en sismología, en prevención de desastres naturales y en arqueogeofísica, han permitido afianzar la importancia de la Geofísica en la solución de problemas nacionales.

Desde el inicio, la enseñanza de Física a nivel medio se vio afectada por el problema de la falta de docentes. Esta falta de personal obligó a que en 1974, siendo Decano el Dr. Alfredo Soler, la Escuela de Física organizara un profesorado en Física, sin necesidad de obtener previamente la licenciatura. Este programa solucionó el problema en gran medida.

La celebración del Curso Centroamericano y del Caribe de Física en 1980, motivó la discusión sobre la importancia de mejorar la calidad de los métodos para la enseñanza de la Física. Con este propósito, en 1981 se estableció la Comisión Didáctica, integrada por los profesores Gilda Sánchez, Matilde de Samudio, Etelvina Medina y Sergio Guerra. Esta Comisión, con la colaboración de los profesores de Física Dr. Bernardo Fernández, Dr. Orlando Concepción, Irene de Rodríguez, Victoria Moreno, Héctor Castillo, Álvaro Maturell, Eduardo Flores y Martín Acosta; la Dra. Deyanira Barnett de Biología y la profesora Silvia de Núñez de Química, realizó investigaciones sobre los métodos de enseñanza de las ciencias en la escuela media, basados en la teoría de Piaget y el constructivismo.

En el área de energías alternas, el Departamento de Física cuenta con capacidad para resolver problemas de electrificación en áreas rurales aisladas. Una prueba de esto es la instalación

de paneles solares para la generación de energía eléctrica del poblado El Capurí (Provincia de Herrera) que no contaba con servicio eléctrico.

## **Departamento de Física**

En 1987, se crea el Departamento de Física, y fue su primer Director, formalmente establecido, el Profesor Néstor Sánchez. Para esta época, el Departamento de Física ya contaba con diez profesores con doctorado y quince con el grado de maestría en Física, los cuales cuentan con la formación para contribuir a la solución de problemas nacionales.

En 1995, se modifica por tercera ocasión el plan de estudio de la Licenciatura en Física, como respuesta a la necesidad de adecuar la formación de los egresados a la evolución natural de la ciencia física y a las demandas científicas y tecnológicas del país. Para ello, se incrementó el número de créditos en las materias obligatorias y en las optativas se introdujeron las nuevas áreas: Física Teórica, Enseñanza de la Física, Técnicas Nucleares e Instrumentación, Ciencia de los Materiales y Geofísica.

A partir del año 1997, por intermedio de los profesores Alfonso Pino, Sergio Guerra, Néstor Sánchez y Álvaro Maturell, se inició el proceso de medición de los niveles de radiación ultravioleta B y de la columna de ozono total en la ciudad de Panamá. Con posterioridad, se creó el Laboratorio de Física de la Atmósfera, a fin de sistematizar el proceso de monitoreo de los parámetros radiométricos y atmosféricos. Estos trabajos han sido motivados por los altos niveles de radiación que se registran en nuestro país a causa de su clima y de su posición geográfica. En la actualidad, se cuenta con una Red Radiométrica Nacional integrada por tres sitios de monitoreo de radiación: Campus Octavio Méndez Pereira de la Universidad de Panamá, Aeropuerto Enrique Malek de la ciudad de David y en el Centro Regional Universitario de Veraguas.

Ese mismo año, la Universidad Autónoma de Chiriquí, con el objetivo de formar profesionales de Física que llenaran las necesidades académicas del sector oeste del país, crea la carrera de Licenciatura en Física, y fue su primera Directora, la Profesora Amalia de Rusnack.

En el año 2000, el profesor de Física, Dr. Eduardo Flores es electo Decano de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, cargo que ocupa hasta septiembre de 2003, y se convierte en el segundo físico panameño en ocupar este cargo.

## **Física crea nuevas carreras**

**Ingeniería Electrónica y Comunicación:** Con la fundación de la Universidad Tecnológica de Panamá y el traslado de las carreras de ingeniería a ese centro, se produce un vacío en el área tecnológica en la Universidad de Panamá. En muchos aspectos, estas servían de puente para la aplicación de las ciencias básicas al desarrollo nacional. Este vacío se llenó, parcialmente, con la creación de nuevas carreras en el área tecnológica, por parte del Departamento de Física.

En 1989, con miras a promover el desarrollo de la Tecnología en nuestro país, un grupo de profesores del Departamento de Física, integrado por los Profesores Dra. Diana Chen, Néstor Sánchez, Dr. Víctor Urrutia, Sergio Guerra, Ricardo Lajón y Ricardo Bolaños, tuvo la idea de elaborar una carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicación.

Para un mejor desarrollo del área, en 1996, se aprobó la creación del Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicación, designándose a la Dra. Diana Chen, Directora de este Departamento, y a la Profesora Etelvina Medina, Directora de la Escuela de Electrónica.

**Ingeniería en Topografía y Geodesia:** Ante la necesidad de desarrollar una ingeniería con tecnología de punta y dar respuesta a un clamor nacional, el Departamento de Física, a través del Decano Flores, presentó en el año 2001, la propuesta

de creación de la carrera adscrita a la Escuela de Física, de la Licenciatura en Ingeniería en Topografía y Geodesia.

**Licenciaturas en Docencia:** En virtud de las dificultades que tradicionalmente ha presentado la enseñanza de la Ciencias Básicas en la Escuela Media, se hizo necesario un cambio de filosofía en la formación de docentes en estas especialidades. Aquellos estudiantes con motivación para ser profesores de media, pueden alcanzar esta meta optando por una de las carreras de Licenciatura en Docencia, sin necesidad de cursar la Licenciatura clásica. En esta nueva propuesta para la enseñanza a nivel medio, en un término de cuatro años, el estudiante toma los cursos de pedagogía que brinda la Facultad de Educación, paralelamente a los cursos de la especialidad.

Después de varios años de trabajo, en el año 2001, le correspondió al Decano Flores hacer la sustentación necesaria para la aprobación de las Licenciaturas en Docencia en Matemática, Licenciatura en Docencia en Física, Licenciatura en Docencia en Química, Licenciatura en Docencia en Biología y la Licenciatura en Docencia en Informática.

**Plan Especial para Docentes en Servicio:** La enseñanza de la Física a nivel medio siempre ha sido preocupación de la Escuela de Física. La carrera de Licenciatura en Docencia en Física constituye un enfoque renovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta disciplina. Considerando que un gran número de docentes de Física en el nivel medio, no está titulado en Física, sino en otras áreas científicas o tecnológicas, la Escuela de Física organizó un Plan Especial para la preparación de estos profesionales, que los conduce a titularse como Licenciados en Docencia en Física. Este proyecto novedoso presentado por el Decano Flores se aprobó en el año 2002.

### **Creación de La Sociedad Panameña de Física**

Después de más de 20 años de haber realizado el primer intento de organización de los físicos panameños, se crea en el año 2000, la Sociedad Panameña de Física (SPF), la cual tiene entre sus

objetivos la promoción, el desarrollo, el fomento y la divulgación de la Física en todos sus campos. Su primer presidente fue el autor de este escrito, sucedido por el profesor Guillermo Batista. En la actualidad, ocupa la presidencia de la SPF el Dr. José Emilio Moreno.

## **Bibliografía**

1. Adames, A; Agard, E.; Fernández, B.; Flores, E.; Gutiérrez, J.J.; Soler, A. Ciencia, Universidad y Nación (cien años de República). Tecnociencia, Volumen 5, N° 3. Panamá, 2003.
2. Boletín Informativo (1965). Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia.
3. Castellero R, E. J. (1989). Historia de Panamá. Décima edición. Panamá. Ministerio de Educación.
4. Céspedes, F. (1981). La Educación en Panamá. Panamá histórico y antología. Panamá, Biblioteca de la Cultura Panameña. T.4. Presidencia de la República.
5. Flores, E. Justo Arosemena y la Física. Revista Tarea N° 87, Panamá.
6. Flores, E. & Moreno, E. (2004). Ciencias Físicas o Filosofía de la Naturaleza. Árticsa. Panamá.
7. Gálvez, D. (1974 a 1982). La historia de nuestra facultad, Conciencia, Volúmenes I, II, III, IV, VI, VII, VIII y IX.
8. Méndez Pereira, O. (1953). La Universidad de Panamá. En Panamá Cincuenta Años de República. Edición de la Junta Nacional del Cincuentenario.
9. Molina, E. (1995, octubre). Origen y desarrollo de la Universidad de Panamá. En Revista Universidad. IV Época, N° 55-56, pp. 199-211.

# Bernardo Lombardo: Padre de la Física en Panamá

Irene Lombardo de Rodríguez\*, Bernardo E. Rodríguez Lombardo y Mir Rodríguez Lombardo

\*Departamento de Física, Universidad de Panamá.

En este año, en el que estamos celebrando el Año Internacional de la Física, el momento es propicio para recordar a una de las mentes más brillantes y visionarias que ha dado nuestro país y que dedicó toda su vida a servirlo desde la Universidad de Panamá. Ejemplo de panameño, educador y científico, el profesor Bernardo Lombardo desarrolló toda su trayectoria vital con el firme convencimiento de que la revolución tecnológica debía estar al servicio del desarrollo de su país, en especial de las clases más desfavorecidas; y que para hacer efectiva esa transferencia tecnológica, era preciso dotar de una formación integral y de calidad a todos los panameños y panameñas.



Su pensamiento se enmarcó dentro de una visión de futuro, amplia y progresista, por lo que mantuvo una preocupación permanente por la problemática social de nuestro pueblo.

Luchó siempre por crear conciencia de que la función del profesor universitario no es sólo enseñar e investigar, sino también hacer extensión y servir a la comunidad, entendiendo a la Universidad como actor principal en el acontecer y en el desarrollo del país.

## **Hacia California**

Bernardo Antonio Lombardo Ayala nació en Chitré el 13 de junio de 1917. Fue el tercero de los cinco varones habidos del matrimonio de María de la Cruz Ayala Barrios, una telegrafista, y Bernardo Lombardo Herrera, un artesano joyero. Realizó su educación primaria en Chitré y Penonomé. Desde aquellos tiempos, ya se veía en el joven Bernardo una inusual afición a la lectura y al estudio. Sin luz eléctrica en su casa de Penonomé, hacía sus tareas y estudiaba hasta caída la noche bajo la luz del faro de gas de la calle.

Una beca de estudios le permitió ingresar como interno en el Instituto Nacional, en donde obtuvo el bachillerato en ciencias. En 1935, inicia sus estudios en la recién fundada Universidad de Panamá, que comenzaba su labor utilizando los salones de clases del Instituto Nacional. Cuatro años más tarde, obtiene su Certificado de Premedicina y el Diploma de Profesor de Ciencias Naturales, formando parte de la primera promoción de jóvenes estudiantes que terminaba un programa académico completo en la nueva universidad. El joven graduado consigue trabajo en la Escuela Normal Juan Demóstenes Arosemena como profesor de ciencias naturales e inicia así, su carrera como educador.

Poseedor de un talento natural para la física y la matemática, gana una beca en un concurso internacional, y en 1941, marcha a la Universidad de California en Berkeley a continuar sus estudios en física. Culmina su maestría y se convierte en el primer panameño en obtener un título de postgrado en física. Inmediatamente inicia su investigación doctoral.

Lombardo no fue el único panameño en Berkeley. Su amiga Bertilda Pérez, con una Licenciatura en Ciencias Económicas de la Universidad de Panamá, había logrado también una beca para estudiar en California. De esta amistad, surge el amor y se casan en Estados Unidos, rodeados por sus compañeros estudiantes de la Casa Internacional de la Universidad de Berkeley.

El magro estipendio de la beca de Lombardo lo había obligado a entrar a los Estados Unidos con una visa de residente que le permitiría trabajar para apoyarse económicamente. Contaba que, como empleado en una compañía de mudanzas, sus compañeros de trabajo lo veían tan delgado, que le permitían estudiar mientras ellos levantaban los pesados muebles.

Pero pronto, el fantasma de la guerra llegaría a cambiar todo. En 1942, su asesor en la investigación sobre rayos cósmicos, el Dr. J. Robert Oppenheimer, se marchó para encabezar el proyecto que produciría la primera bomba atómica; y en 1945, su estatus migratorio pone a Lombardo en riesgo de ser llamado al ejército, por lo que sale hacia Panamá, inmediatamente después de haber presentado su tesis doctoral, y antes de sustentarla.



Estudiantes de la Casa Internacional en la Universidad de Berkeley, 1943. Lombardo en la primera fila, cuarto de izquierda a derecha. También aparecen en la foto los panameños Octavio Sousa, Julio Wong, Adolfo Malo y Remberto Lombardo.

## **El Científico y Educador como actor social**

Tras llegar a Panamá con su esposa, se establece y forma una familia. De su matrimonio con Bertilda, su fiel compañera por 37 años, nacen tres hijas: Irene y Eva, llamadas así por las hijas de la célebre física Marie Curie, y Bernardina. Estableció su residencia en el entonces Barrio Obrero, frente a los terrenos donde pocos años después se construiría el actual campus universitario. Se incorpora a la Universidad de Panamá como profesor de física y matemática, a tiempo completo y dedicación exclusiva. A partir de su ingreso a la máxima casa de estudios, Lombardo inicia una vida de dedicación a la Universidad de Panamá y al desarrollo de la ciencia y la educación.

Al profesor Lombardo le tocó vivir los inicios de la era nuclear, que arrancó súbitamente con el estruendo de las bombas atómicas en Japón, y adquirió conciencia de la responsabilidad de los físicos de propiciar el uso de la energía nuclear para beneficio de la humanidad. En 1955, participa como delegado de Panamá en el Primer Congreso Internacional de Átomos para la Paz en Ginebra, Suiza, convocado por el premio Nobel de física, Niels Böhr. El profesor Lombardo marca así una pauta en la responsabilidad civil de los científicos panameños.

Fue Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia desde 1957 a 1964. En julio de 1960, el Consejo General Universitario lo eligió como el decano encargado de reemplazar al rector en sus ausencias temporales, función que desempeñó en diversas ocasiones.

En 1960, el gobierno francés lo distingue por su labor como educador y científico, condecorándolo con las Palmas Académicas en el grado de Oficial y algunos años después, con la Cruz de Caballero de la Legión de Honor.

Ejerció como profesor de física y matemática en la Escuela Artes y Oficios y en el Instituto Justo Arosemena. En 1964, es invitado por la Universidad de Los Andes en Mérida, Venezuela, para dictar cursos para profesores universitarios sobre el uso de los

radioisótopos. Como docente, tuvo especial interés en el desarrollo y mejoramiento de la enseñanza de la Física; e invitado por organismos internacionales, formó parte de comisiones de estudio en estos aspectos y en la revisión y elaboración de los programas de física y ciencias naturales en América Latina. Lombardo fue educador desde su graduación en la Universidad, y continuó siéndolo hasta sus últimos días. Sin importar el cargo administrativo que estuviese desempeñando, asistió a sus horas de clase y mantuvo el contacto con sus estudiantes. En compañía de los profesores de matemática, Agustín Colamarco y Nariño Rivera, escribe texto de Geometría para estudiantes de enseñanza media.

## **Mente audaz**

Quizá la principal constante en la vida de Lombardo fue su creatividad. Nunca tuvo miedo de innovar, de inventar o de atreverse hacer cosas que nadie había hecho antes. Una de sus iniciativas fue la creación, en enero de 1956, del Centro de Estudios Nucleares de la Facultad de Ciencias Naturales. En este Centro, se realizaron diversas investigaciones sobre control de plagas, conservación de alimentos y otros tópicos. Uno de los trabajos del centro fue una investigación sobre el consumo de yodo y la incidencia del bocio endémico en la población de Peñas Blancas, en la provincia de Los Santos, utilizando diagnósticos con yodo radiactivo. Los sujetos de la investigación no eran sólo una fuente de datos para los científicos, ya que la Universidad de Panamá apoyó a la comunidad de Peñas Blancas con gallinas, semillas y medicinas, además de establecer hortalizas demostrativas y un pozo que agregaba suplementos de yodo al agua consumida por sus habitantes.

Entre sus aportes a la nación panameña se cuenta el haber sido uno de los pioneros en nuestro país en la utilización de las radiaciones ionizantes en la lucha contra el cáncer. El profesor Lombardo, en colaboración con algunos médicos especialistas, realizó análisis de centelleo radiactivo de la tiroides a pacientes de la Caja del Seguro Social y a los del Hospital Santo Tomás. Fueron los primeros en Panamá en llevar a cabo este tipo de

exámenes. El actual Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares puede considerarse como el heredero de este esfuerzo visionario del profesor Lombardo.

A inicios de los años 60, propone la organización de los Laboratorios Especializados de Análisis, hoy Instituto Especializado de Análisis. Fundó el Centro de Procesamiento de Datos del Instituto de Estudios Nucleares, en el Departamento de Física, en 1964, con el que nos incorporamos a la nueva era del tratamiento de datos e informática. En este Centro, instaló el primer computador en Centroamérica. Esta unidad constituye el origen del Centro de Cómputo de la Universidad de Panamá, actualmente Dirección de Informática, que prestó importantes servicios a diversas instituciones nacionales públicas y privadas.

## **La Universidad se hace adulta**

En 1964, el Consejo General Universitario, con representación de profesores, estudiantes y trabajadores administrativos, lo elige rector de la Universidad de Panamá.

Durante su rectoría, caracterizada por una defensa constante de la autonomía universitaria, por la introducción de modernas técnicas educativas de investigación y administración, así como el inicio de la identificación de la Universidad en la solución de los problemas nacionales, se vivió una gran apertura democrática. Lombardo sostenía que en el seno de la Universidad ... ***"debemos proclamar y sustentar el principio de libre análisis, a la luz de todas las corrientes científicas y filosóficas para que así se incremente su verdadera vivencia democrática y su verdadera autonomía"***.

Entre 1964 y 1968, se duplicó el presupuesto universitario, que llegó por primera vez a un millón de balboas. Se crearon programas de becas y trabajo estudiantil para ayudar a estudiantes con dificultades económicas y la matrícula fue más numerosa que los estimados oficiales.

Lombardo decía que: ***"una Universidad debe proyectarse... Más allá de los claustros y estar en permanente contacto con las comunidades de todas las áreas nacionales"***. Consecuentemente, funda durante su gestión la Dirección de Extensión Fundamental, precursora de la actual Dirección de Servicios Comunales, que llevó a la Universidad a jugar su papel en el ámbito científico, cultural y social del país. Con estos esfuerzos, el valor de las publicaciones, como resultado de las investigaciones y su importancia para el desarrollo nacional, comienza a entenderse.

Con la rectoría de Lombardo, la Universidad avanza en sus estructuras institucionales para realizar sus funciones de docencia, investigación y extensión. Se crean las Facultades de Odontología y Agronomía; se fundan las extensiones universitarias de Penonomé y Las Tablas; se funda el Departamento de Biología Marina de la Facultad de Ciencias; surge el Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de la Facultad de Agronomía, ubicado en Tocumen; se instalan los estudios de radio, televisión y redacción en la Escuela de Periodismo y se inaugura la Dirección de Expresiones Artísticas (DEXA). La Universidad creaba soluciones innovadoras ante los retos surgidos por su rápido aumento en la población estudiantil; y ante la escasez de profesores, la Facultad de Ciencias instaló un sistema de circuito cerrado de televisión para dictar clases de física.

En 1968, es uno de los gestores de la creación del Instituto Centroamericano de Supervisión y Administración de la Educación; e integra a la Universidad al Consejo Superior de Universidades Centroamericanas (CSUCA), lo que permitió la formulación de un Proyecto para la Enseñanza de las Ciencias Fundamentales, por vía del Ministerio de Relaciones Exteriores, ante el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

### **1968: Reección y el súbito fin de su carrera**

En 1968, tras otro intenso torneo electoral, es reelecto por el Consejo General Universitario para un segundo periodo como

rector. Dos meses antes, el país había sido sacudido por el golpe militar. La Universidad, como siempre, reflejo a escala de la realidad nacional, en esta ocasión no fue la excepción.

Una universidad abierta y democrática bajo el liderazgo de Lombardo, no estaba en los planes del nuevo régimen. Un sábado de diciembre, en la madrugada, sin que nadie lo esperara, la Universidad fue ocupada por la Guardia Nacional y se nombra a una junta de regentes para decidir sus destinos. Cuando el régimen vuelve a abrir la Universidad, Lombardo no formaba parte de la nueva organización. Así fue como concluyó la brillante vida universitaria del Profesor Bernardo Lombardo. Dos años más tarde, fue diagnosticado con insuficiencia renal, requiriendo tratamientos de hemodiálisis por el resto de su vida.

En sus últimos años, pasaba largas horas mirando desde el portal de su casa a profesores y estudiantes entrar y salir de la Universidad al otro lado de la calle, quizá añorando aquellos tiempos que pasó en ella, dedicándole cada minuto de su vida activa. A partir de entonces, la Universidad le asignó una pensión y su esposa Bertilda se dedicó a cuidarlo y a hacerle sus tratamientos. Desde su silla, conectado con tubos a la máquina que hacía el trabajo de sus riñones inservibles, veía a sus once nietos crecer y correr a su alrededor.

En 1974, fue condecorado por el Gobierno de Panamá con la medalla Manuel José Hurtado que se otorga a educadores destacados, posiblemente, el honor que más le enorgulleció en toda su vida. Lombardo no volvería a pisar la Universidad hasta 1982, cuando la Escuela de Periodismo le rindió un homenaje. Hablando en la Universidad, por primera vez desde 1968, dirigió un discurso lleno de optimismo a la comunidad universitaria. Murió unos meses después, el 13 de noviembre de 1982. Su pensamiento se manifestó claramente cuando señaló que ... **"es necesario asegurar que los beneficios derivados de una producción creciente, se utilicen para aliviar las privaciones materiales de las mayorías y no para aumentar el consumo de los grupos de ingresos más elevados"**... **"Panamá necesita hombres y mujeres con mentes audaces..."**

***capaces de producir los cambios requeridos,... y con la voluntad explícita de contribuir a que se produzcan".***

## **Cronología del Profesor Bernardo Lombardo**

- 1917: El 13 de junio nace Bernardo Lombardo en Chitré, provincia de Herrera.
- 1940: Obtiene el título de Profesor de Ciencias Naturales en la Universidad de Panamá.
- 1943: Termina su maestría en física nuclear en la Universidad de California en Berkeley.
- 1944: Aceptado en la sociedad científica de la Sigma XI de Universidad de California en Berkeley.
- 1945: Aceptado en la American Physical Society.
- 1945: Regresa a Panamá antes de sustentar su trabajo de doctorado ante el temor de ser incorporado al ejército estadounidense. Su estudio sobre los rayos cósmicos fue posteriormente publicado.
- 1945: Se incorpora como profesor de tiempo completo en la Universidad de Panamá.
- 1948: Asiste a curso en rayos X y equipo médico en Baltimore, Maryland, E. U.
- 1954: Asiste al Segundo Curso Latinoamericano sobre la utilización de radioisótopos en La Habana, Cuba.
- 1955: Participa en representación de Panamá en el Primer Congreso Internacional de Átomos para la Paz en Ginebra, Suiza.
- 1956: Curso de perfeccionamiento para profesores universitarios de física y matemáticas en México.

- 1956: Funda el Centro de Estudios Nucleares en la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia.
- 1957: Participa en el Simposium Interamericano de Energía Nuclear en Brookhaven (E. U.).
- 1957-1964: Electo y reelecto Decano de la Facultad de Ciencias Naturales y Farmacia.
- 1960: Condecorado por el gobierno de Francia con las Palmas Académicas en el grado de Oficial y algunos años después, con la Cruz de Caballero de la Legión de Honor.
- 1963: Acude a la Primera Conferencia Internacional sobre la Física en la Educación General, en Río de Janeiro.
- 1964: Invitado a dictar curso sobre radioisótopos a profesores de la Universidad de los Andes, en Venezuela.
- 1964: Panamá entra a la era de la información con la adquisición de una computadora para el Centro de Estudios Nucleares, la primera de Centroamérica.
- 1964: Elegido rector de la Universidad de Panamá.
- 1968: Escogido como presidente del Consejo Superior de Universidades Centroamericanas.
- 1968: Reelecto para un segundo periodo en la rectoría, y pocos meses después, expulsado de la Universidad por el régimen militar.
- 1974: Condecorado por el Gobierno de Panamá con la medalla Manuel José Hurtado.
- 1982: Agasajado por la Escuela de Periodismo de la Universidad de Panamá y da su primer discurso en la Universidad desde 1968 y el último de su vida.

1982: Muere el 13 de noviembre.

1996: El Municipio de Panamá crea la Orden Bernardo Lombardo, que se otorga a personas que se hayan distinguido en el área de las Ciencias.

Por sus méritos relevantes al desarrollo de la Física en Panamá, la Sociedad Panameña de Física, en su Asamblea General N° 1-04, celebrada el 27 de marzo de 2004, aprobó por unanimidad:

- Designar al Profesor Bernardo Lombardo, **Padre de la Física en Panamá.**
- Designar el 13 de junio, natalicio de Bernardo Lombardo, **Día Nacional del Físico.**
- Crear la **Medalla al mérito Bernardo Lombardo**, que será otorgada a físicos (as) panameños (as) que hayan hecho aportes significativos al desarrollo de la Física en Panamá.

## **Bibliografía**

1. Adames, A; Agard, E; Fernández, B; Flores, E; Gutiérrez, J. & Soler, A. Ciencia, Universidad y Nación (Cien años de República). Tecnociencia Vol. 5, N° 3, Panamá. 2003.
2. Garrido, C. Discurso pronunciado en la inauguración del auditorio de la Facultad de Ciencia de la Universidad de Panamá con el nombre de Bernardo Lombardo. Boletín electrónico de la Sociedad Panameña de Física, 2004.
3. Archivos de la Universidad de Panamá.
4. Archivos de la familia Lombardo.

# Semblanza del Profesor Sergio Guerra Gómez, Ganador de la Primera Medalla al Mérito Bernardo Lombardo

María Lourdes Lezcano  
Profesora del Departamento de Física  
Universidad de Panamá

## *F*ormación académica

El ejemplar maestro Profesor Sergio Guerra Gómez es un destacado profesional de la Física, oriundo de la Provincia de Chiriquí, catedrático de la Universidad de Panamá y miembro distinguido de la Sociedad Panameña de Física. Con su incansable labor, él ha contribuido al engrandecimiento, enseñanza, divulgación y aplicación de la Física en nuestro país, y por todos estos méritos se hizo mercedor de la primera **MEDALLA AL MÉRITO BERNARDO LOMBARDO**, máxima distinción que otorga la Sociedad Panameña de Física a profesionales de nuestro país que han realizado aportes significativos al desarrollo y promoción de la Física en Panamá, tradición que inicia este año 2005.

El apreciado maestro Guerra desde muy joven se destacó por su ingenio y brillantez, tal como lo describe una excompañera suya del Primer Ciclo de La Chorrera, la Profesora Mirna Manrique, quien dice: *“él es simplemente brillante”*. Sus primeros

conocimientos de Física los recibió en el prestigioso Nido de Águilas, el Instituto Nacional, donde realizó sus estudios de Segundo Ciclo, con el apoyo de una beca obtenida por sus méritos. Allí despertó su amor por la Física y la Matemática, que lo llevó a estudiar esta carrera en la Universidad de Panamá, y tuvo el honor de ser alumno de dos grandes maestros: Don Agustín Colamarco, Padre de la Matemática en Panamá y el Dr. Bernardo Lombardo, Padre de la Física en Panamá, quien dirigió su Tesis sobre Magnetismo. Sin lugar a dudas, el Profesor Guerra es un digno discípulo y representante del primer físico panameño, quien ha sido su fuente de inspiración y ejemplo a seguir, tal como lo manifiesta el propio Profesor Guerra cuando expresa: *“no sólo fue mi tutor, sino un ejemplo a seguir por sus dotes de hombre de bien y muy conocedor del quehacer científico; a él le debo muchísimo por sus desvelos y por sus grandes dotes de maestro”*. Su trabajo también refleja la fuerte influencia del gran físico Feynman, que lee desde que estaba en el segundo año de su carrera, cuando su Profesor de Física Ernesto Richa le obsequia, por buenas notas en el curso, los tres volúmenes de las Conferencias de Feynman. El Profesor Guerra lo considera como su Biblia de trabajo y manifiesta que parte de su trabajo está inspirado en ese científico, al que ha seguido muy de cerca.

El Profesor Guerra realizó Estudios Superiores en la Universidad Científica y Médica de Grenoble, Francia, donde estudió Termodinámica y Propiedades de la Materia, Física Atómica y Nuclear, Magnetismo y Física de Partículas Elementales. En este último tema fue dirigido por los docentes investigadores M. Bouchez, experto en Física de Partículas, y Louis Neel (Premio Nobel de Física en 1970), experto en Magnetismo. El Profesor Guerra recuerda y lleva a la práctica las palabras de su gran maestro Neel: *“lo más importante en la ciencia es compartir los conocimientos, de manera que surjan nuevos y mejores conocimientos”*. Manifiesta el Profesor Guerra que sus clases lo marcaron para siempre por su claridad y sencillez; lo que más admiró del Doctor Neel fue su humildad, cualidad que describiría a nuestro apreciado maestro Guerra, si tuviéramos que describirlo con una sola palabra.

## Maestro ejemplar

Su trayectoria como docente la inició como ayudante de los cursos de Física en 1964, en la Escuela de Física de la Universidad de Panamá, donde después de concluir la Licenciatura en Matemática y Física, por sugerencia de sus profesores y para mejorar su formación, tomó todos los cursos de la nueva carrera, Licenciatura en Física, pero sin derecho a que se le otorgara este título. Luego fue Profesor en la Escuela Media (Colegio Félix Olivares, Colegio San Agustín) y posteriormente, Profesor en la Universidad de Panamá, donde inició como asistente, escalando meritoriamente a Profesor Especial y finalmente, a Profesor Titular de Física. También ha prestado sus valiosos servicios en la Escuela Náutica de Panamá y en la Universidad Santa María la Antigua (USMA), donde imparte algunos cursos hasta la fecha.

El Profesor Guerra ha hecho grandes aportes al desarrollo de la Física a través de su participación en innumerables cursos, seminarios, investigaciones y publicaciones en el área de Física Experimental, Enseñanza de la Física, Física de la Atmósfera y en Espectroscopía Mossbauer, entre otras.

Fue uno de los pioneros, junto a otros colegas de Física, en la formación de un grupo de trabajo de investigación científica, el **Grupo Mossbauer**, y fue Coordinador del mismo en 1981, cuyos resultados condujeron a la publicación, en ese año, del primer artículo científico del Departamento de Física en una revista extranjera, **Ciencia y Tecnología** de Costa Rica. Empleando la técnica de Espectroscopía Mossbauer, él y los miembros del grupo han realizado estudios de caracterización de cerámicas panameñas, como las del Sitio Arqueológico de El Caño; han desarrollado una metodología para el estudio de las cerámicas y otras alfarerías en Panamá, han logrado determinar la temperatura de cocción de cerámicas antiguas; han estudiado el comportamiento térmico de las arcillas en Panamá y culminaron con la elaboración de una guía para el estudio preliminar de arcillas y clasificación de las muestras de cerámica precolombina, como fruto de la experiencia ganada en la

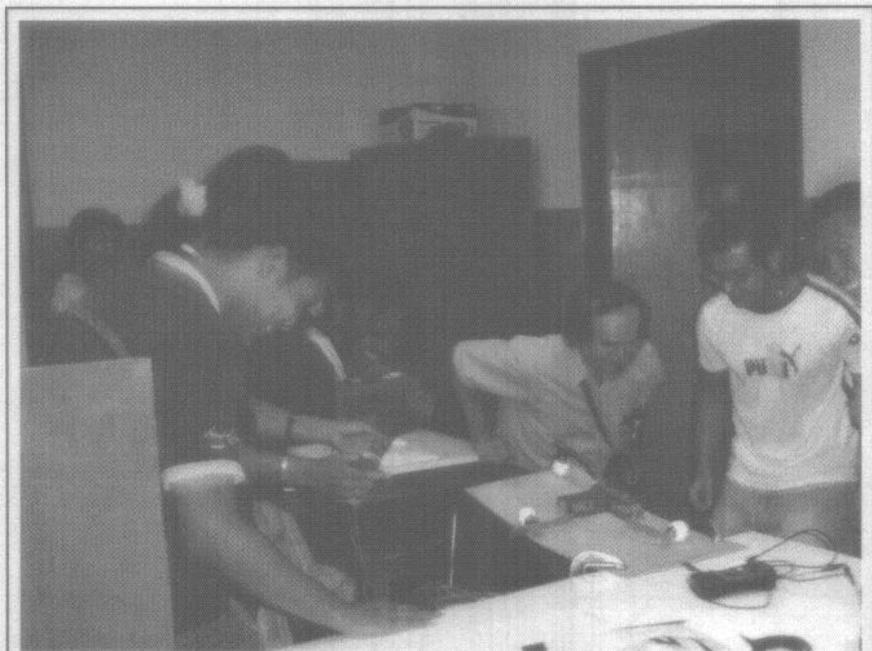
realización de estos trabajos.

También es miembro fundador del **Grupo de Estudios Atmosféricos (G.E.A.)** del Departamento de Física de la Universidad de Panamá y de la **Asociación Latinoamericana de UVB**. En esta área, desde el año 1997, él y un grupo de profesionales de diversas disciplinas, en el Laboratorio de Física de la Atmósfera de la Universidad de Panamá han realizado un monitoreo de la Radiación UVB (relacionada con el cáncer de la piel y daños a la vista) mediante una Red Radiométrica Nacional integrada por tres sitios ubicados en la Ciudad de Panamá, David y Santiago, además de estudiar el espesor de la columna de ozono total, radiación solar global, cobertura nubosa y otros parámetros atmosféricos, tales como el espesor óptico de aerosoles en la ciudad de Panamá.

Pero su aporte en el quehacer científico siempre ha ido acompañado de su gran preocupación e interés por los problemas de la enseñanza de la ciencia, que lo han motivado a realizar investigaciones en esta área, cuyos resultados ha publicado en revistas nacionales. También ha elaborado folletos para facilitar el aprendizaje de sus estudiantes.

Con su acostumbrada abnegación y desprendimiento, ha contribuido a la formación de varias generaciones de Físicos, tanto en su papel de docente como de administrativo, marcando un hito cuando bajo su coordinación de la Escuela de Física, en el periodo 1974-1975, 40 becarios del IFARHU estudiaron Física y se graduaron como Profesores de Física de Enseñanza Media. Convencido de que la tecnología está llamada a cooperar siempre con la ciencia y que sin la tecnología no hay ciencia y viceversa, en su papel de asesor y miembro de un gran número de comisiones, ha colaborado e impulsado la creación de carreras científicas y tecnológicas en la Universidad de Panamá, tales como la de Ingeniería Electrónica y Comunicación, las Licenciaturas en Docencia de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología (actualmente es el Coordinador de la Licenciatura en Docencia de Física); ha participado en la organización de actividades académicas y científicas nacionales e internacionales, entre las que destacan el Comité Organizador

del Primer Congreso Latinoamericano Sobre Radiación UV de la Universidad de Panamá, y actualmente es Asesor del Museo Explora, en el Área de Física.



En el centro de la foto se aprecia al Profesor Guerra en el laboratorio con algunos de sus estudiantes de Física, todos muy motivados aprendiendo Física.

### **Solidaridad, Sensibilidad Social y Gremial, características que lo distinguen .**

El Profesor Guerra, sensible a los problemas de los docentes, también ha aportado su cuota en la lucha por la defensa de los intereses gremiales. Él y otros colegas formaron la Asociación Nacional de Profesores de la Universidad de Panamá (APUDEP), acción que debe ser motivo de orgullo y de agradecimiento por parte de todos los físicos universitarios. Además, como hombre de bien, siempre se ha identificado y solidarizado con las causas a favor de los más necesitados y los problemas sociales, convencido de que la ciencia y las capacidades del ser humano

deben estar al servicio de la humanidad para mejorar la vida y las relaciones entre los hombres.

## **De la mano de la tecnología y la innovación**

Otro valioso aspecto a destacar de nuestro apreciado maestro es su incansable lucha por contribuir al mejoramiento de la enseñanza de la Física, que lo ha llevado a una permanente actualización y búsqueda de recursos que ayuden a comprender y facilitar el aprendizaje de la Física y de la Ciencia, haciendo y promoviendo el uso de la tecnología en la formación de nuestros estudiantes y profesores, mediante el uso de la computadora, Internet, actividades motivadoras, como las que realiza en el Departamento y Escuela de Física de la Universidad de Panamá, en la Sociedad Panameña de Física y en el Museo Explora, para que tanto niños como adultos despierten el interés y el amor por la ciencia. También ha impartido una gran cantidad de



El profesor Guerra (a la izquierda) en el Museo Explora, motiva a los niños para que aprendan ciencia de una manera divertida.

seminarios dirigidos a niños, estudiantes universitarios, maestros y profesores. Es uno de los pioneros en Panamá en el uso de sensores en la realización de experiencias. Es quien dirige las actividades del área de Física en el Departamento de Física, en conjunto con sus queridos estudiantes de las carreras de Física, durante la Expoferia Científica que se realiza cada año en la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología de la Universidad de Panamá, a la cual asisten cientos de estudiantes universitarios y de la Escuela Media. Ha publicado varios artículos en diferentes medios de comunicación, dirigidos principalmente a niños y jóvenes y ha realizado una excelente y destacada labor en la Sociedad Panameña de Física.

El Profesor Guerra también se ha destacado en el manejo de una variedad de Softwares, que le han permitido elaborar un gran número de Páginas Web para sus cursos y para divulgación científica, además de un sinnúmero de artículos de investigación, nacionales e internacionales.

Actualmente asesora las páginas Web de la Sociedad Panameña de Física, del grupo de Física de la Atmósfera y del Departamento y Escuela de Física de la Universidad de Panamá. Además, desarrolla el trabajo **Estudio e Investigación de Física de la Atmósfera y el Medio Ambiente**, con el Grupo de Estudios Atmosféricos (G. E. A.) del Departamento de Física de la Universidad de Panamá.

Personas como el Profesor Guerra, que con su permanente, incansable y silenciosa labor engrandecen al país, deben ser fuente de inspiración y ejemplo a seguir por las presentes y futuras generaciones, además de ser motivo de orgullo para todos los que hemos tenido el privilegio de conocerlo, y que de una u otra manera hemos recibido sus sabias enseñanzas. Un gran maestro, con una gran dosis de humildad, desprendimiento y dedicación.

## **Bibliografía**

1. Guerra, Sergio et al. Estudio por Espectroscopia Mossbauer de Arcillas Provenientes del Sitio Arqueológico de El Caño, Panamá, Tratadas Térmicamente-. Revista Ciencia y Tecnología. Costa Rica. 1983.
2. -Caracterización de Cerámicas Panameñas por Espectroscopia Mossbauer- IV Congreso Nacional de Antropología y Etnohistoria.
3. -Determinación por Espectroscopia Mossbauer de la Temperatura de Cocción de Cerámicas Antiguas y Estudio del Comportamiento Térmico de las Arcillas . VII Congreso Nacional de Antropología y Etnohistoria.
4. -Resumen Preliminar del Monitorco de la Radiación UVB en la Ciudad de Panamá. Revista Científica Tecnociencias 1997.
5. - Registro Fotométrico del Eclipse Total del Sol del 26 de febrero de 1998 en la Ciudad de Panamá- IV Congreso de Astronomía y Astrofísica.
6. Descripción Preliminar de la Radiación UVB y del Nivel de La Columna de Ozono Estratosférico en la Ciudad de Panama-. Revista Geofísica México.
7. -Descripción Preliminar de los Esquemas Basicos de Pensamiento Formal en Estudiantes de Ciencias Básicas en la Universidad de Panamá. Revista Conciencia No 3, Vol. IX, diciembre de 1982.
8. -Correlación entre Rendimiento Académico y Posesión de Esquemas de Pensamiento Formal. Conciencia, Vol. X mayo de 1983.
9. -Diagnósticos de Estructuras Cognoscitivas en Estudiantes de Capacitación. Revista Conciencia No 2, Vol. X , septiembre de 1983.

# La Física También Forma Parte de la Cultura

Omayra Pérez C. y Bernardo Fernández G.

Universidad de Panamá, Estación RN50

## *I*ntroducción

Dentro del conjunto de creaciones y formas de expresión del hombre o de grupos humanos están los modelos mentales, matemáticos, icónicos, a escala, analógicos, didácticos, filosóficos y otros, de los fenómenos del universo. Los físicos “crean” modelos de dichos fenómenos cuando tienen estructuras matemáticas. Estos modelos creados por los físicos son parte de la cultura universal, así como la pintura, la música, la escultura, el folklore, la arquitectura, la poesía, la novela y otras expresiones más de la creatividad del ser humano de manera individual o colectiva. Las creaciones intelectuales del ser humano sobre los fenómenos del universo son parte de la cultura universal que debemos preservar. Es difícil hacer camino para que eso sea reconocido. Pero el camino se hace al andar. Es necesario que la sociedad reconozca las expresiones de la Física como parte de la cultura universal y que sean conocidas y aprendidas por los jóvenes de nuestra sociedad del siglo XXI.

Queremos aportar algunos elementos históricos, cognitivos, apuntaladas filosóficas (pero como elementos de filosofía ingenua) y procedimentales (que muestren el ingenio teórico y experimental y la sofisticación tecnológica de los instrumentos) que permitan sustentar nuestro punto de vista acerca de que la Física debe ser reconocida como parte de la cultura en el siglo XXI. En la segunda mitad del siglo XX, la Física, heredando los grandes cambios de su primera mitad, incidió y quizás más precisamente, guió hacia nuevos resultados la astronomía y la

astrofísica; liderizó la evolución del concepto de medición; introdujo las concepciones más sofisticadas sobre el tiempo y otras más, aspectos que a su vez están a la base de la cosmovisión del hombre que inicia el XXI. Esa cosmovisión modula y modela otras concepciones y expresiones sociales del ser humano. Estas lo pueden llevar de lo sublime a lo criticable.

La Física se entiende como la ciencia que estudia los fenómenos de la naturaleza que tienen estructura matemática. Esas estructuras matemáticas son bellas, siempre le han encantado al hombre. Esta disciplina maneja un criterio de la verdad construido sobre los resultados de la experiencia y no sólo de la observación que, por provenir sin depuración de los sentidos, puede enmascaramos lo real. Ella tiene un método de trabajo llamado método científico y una deontología que orienta y frena acciones. Usa la medición como expresión concreta del diálogo que sostiene el físico con la naturaleza.

La cultura nos trasciende y nos aleja de ***“El Hombre Unidimensional”***, como lo caracterizó Hebert Marcuse en esa brillante obra. La unidimensionalidad del hombre, presentada en dicho estudio-reflexión, como producto del capitalismo aparentemente apolítico y despiadadamente tecnocrático, responde a la cosmovisión de los años críticos alrededor de 1968. Hoy día, la situación es igualmente salvaje unidimensional, pues, pensar que la cultura sólo debe ser vista desde la perspectiva de las artes y no de la ciencia, constituye la nueva expresión de ese hombre de pensamiento alienado.

## **Hacia expresiones culturales nuevas**

El interés de nuestro punto de vista reside en que la Física, como elemento de la cultura, aporta a la humanidad, elementos eficientes en la transformación de la naturaleza y de la sociedad, nota que ha sido la constante de toda la Física de los últimos cincuenta años del siglo XX. El confort material del hombre actual se deriva en más del 50% de los resultados tecnológicos de la Física del siglo XX. Reconocemos que muchos resultados son mal utilizados, pero ello es asunto de moral y ética y no de los

resultados “*per se*” de la Física. Por ello, la ciencia es una actividad social.

Antes de proseguir, debemos dejar sentado que la filosofía clásica dice que en toda cosmovisión va inmersa una orientación filosófica: materialista o idealista. Los físicos optan por la materialista, pues significa la aceptación de un mundo objetivo independiente del hombre, o por la “*idealista objetiva*” que significa la existencia de un mundo externo, objetivo, pero cuyo conocimiento depende del sujeto, por la preeminencia ontológica de lo ideal. La Ciencia moderna prefiere no dirimir de manera categórica entre esas dos corrientes. Algunos, incluso, hacen una mezcla de ambas. Sin embargo, la que un físico no acepta es la concepción “*idealista subjetiva*” de un Berkeley. Esta, en lo gnoseológico, puede llevar a la concepción Kantiana que quiere que el conocimiento esté basado en la percepción y lo que el hombre percibe no es la realidad, sino una distorsión de sus sentidos y su cerebro (mundo fenomenológico).

Cuando reflexionemos sobre la evolución del conocimiento, la filosofía clásica pide que optemos por una aproximación histórica o “*dogmática*”. La histórica quiere que saquemos el desarrollo lógico de las ideas de la manera secuencial en que el hombre las obtuvo, con su ambiente y su interacción. La “*dogmática*” prefiere dar coherencia a las ideas, pues es difícil dar secuencia estricta a un pensamiento que varía entre secuencial o paralelo. En la actualidad, los científicos y los didácticos prefieren adoptar actitudes más eclécticas. Hay situaciones de pensamiento paralelo; otras, de secuencial y muchas, de mezcla.

Las nuevas tendencias en historiografía de las ciencias han superado las tendencias que tienen como propósito legitimar aquellos episodios o individuos que habían contribuido a construir las teorías modernas, y más que una investigación sobre la naturaleza del conocimiento y su relación con la sociedad, se trata de un rescate de los “*errores*” de nuestros antepasados y una celebración del triunfo de las teorías del presente. Por ejemplo, la manra de ver el mundo de Alexander Koyré, en la que primaba la teoría sobre la experiencia, legitimó

desde esa perspectiva historiográfica, su aproximación sobre el supuesto “*fraude*” de Galileo en sus experiencias. El estudio moderno de la historia de las ideas del pensamiento científico lleva a las dimensiones correctas del papel de la experiencia en la construcción de la ciencia, en particular en la construcción galileana de la Física.

Lakatos parafrasea a Kant cuando dice: “*la filosofía de la ciencia sin historia es vacía, y la historia de la ciencia sin filosofía es ciega*”. Pierre Thuillier es más categórico al decir que: “*es una simplificación abusiva pensar que debemos valorar sólo la experimentación o valorar sólo el modelo teórico, cuando la realidad es más rica que el empirismo o el racionalismo; estos conflictos son de orden teórico o de orden filosófico, pero carecen de neutralidad ideológica*”.

## **Nuestro universo**

Nuestro conocimiento histórico sobre el universo nos lleva a épocas muy tempranas de la aparición del hombre sobre la Tierra. Para él, el universo constituyó motivo de admiración, preocupación, curiosidad que a su vez, lo condujo a crear modelos y expresarlos en una forma determinada. “*Al inicio fue el caos y del caos nace el verbo*”, entendiendo por caos la imposibilidad de explicación coherente, lógica y determinista del universo y por verbo la forma más sublime de expresión de la inteligencia: el lenguaje. El universo pasó a ser un ente cuyas características podrían ser expresadas por el lenguaje, que es expresión de nuestra percepción de la realidad.

Los primeros modelos del universo eran egocentristas. Como el niño, que pasa por la etapa de egocentrismo sintiendo que él debe ser el centro de la atención, el ser humano consideró que el centro del universo era la Tierra. Los modelos de Ptolomeo traducen esa cosmovisión. La iglesia cristiana lo prohibió de manera militante como una herencia del judaísmo que considera que la humanidad está hecha de pueblos elegidos y hombres iluminados y de hombres y pueblos no elegidos. Esa concepción de elitismo sirvió a los luchadores contra la ocupación romana

para universalizar el discurso y reclutar a los esclavos, buenos luchadores contra los invasores romanos.

Una virtud del modelo egocentrista radicaba en las explicaciones verbales que se daban para justificar las hipótesis de base. El Antiguo Testamento es una obra literaria de envergadura y sobre su lenguaje se ha escrito una infinidad de análisis que lo sitúan como fuente de lenguaje, es decir, de expresión interpretada de la realidad, en donde mucho hay de esa etapa de la humanidad.

La expresión más simple de ese universo era la bóveda celeste, la cual tenía misterios que la curiosidad del hombre quiso entender o descifrar. Entre sus primeras preocupaciones estuvo expresar las bellas simetrías de la periodicidad, que por una construcción lógica, permitía inventar el concepto de tiempo. El ser humano ya intuía, como resultado de su percepción directa a través del ritmo biológico (periodicidad), que había una explicación para su tiempo de vida finito. A mayor ritmo de vida biológico, menor tiempo de vida y viceversa. Esto le hizo pensar en la posibilidad de que eran variables conjugadas. Es decir, epistemológicamente ligadas.

## **El tiempo en ese universo**

Nos enseña Jean Piaget, gran epistemólogo suizo del siglo veinte, que en contraste con el espacio (que el niño descubre por exploración directa, desde su vida temprana) el tiempo es de aparición tardía. Hay niños de cinco años que todavía no tienen bien anclado el concepto de tiempo. Eso significa que el ser humano necesita una estructura mental especial para construir el concepto de tiempo. Esa estructura mental antes de Piaget se denominaba edad de la primera razón (la sartriana sería la segunda edad de la razón: L' âge de la raison) y que la religión eligió como edad mínima para poder hacer la primera comunión. Hoy, sabemos que esa edad se corresponde con un cambio de estructura mental que lleva del pensamiento preconcreto al concreto.

Para construir el tiempo, el niño necesita haber descubierto la reversibilidad de las acciones y que los matemáticos asocian a dos tipos de elementos inversos, el elemento inverso asociado a una operación como la suma o reunión de conjuntos y el elemento inverso asociado a la operación de multiplicación o intersección de conjuntos. La matemática formal identifica hoy día, esos conceptos como los padrones de las nociones de vecindad. Una es la vecindad espacial y la otra la vecindad temporal. Una vez que el niño obtiene las nociones de reversibilidad y de vecindad, ya puede construir el concepto de tiempo y asociarlo a su variable conjugada la periodicidad. La topología como rama de la matemática moderna es elocuente en ese sentido.

Tomemos como ejemplo la periodicidad del día y la noche. Ese sería la unidad básica del conteo de tiempo. A partir de allí, una observación directa de la periodicidad en el comportamiento de la Luna, paso de dos Lunas nuevas consecutivas (con sus cuatro fases: luna nueva, cuarto creciente, luna llena y cuarto menguante) que se da en 28 unidades básicas, es decir, en 28 días, le permitió al hombre construir el concepto de mes lunar. Un mes lunar tiene 28 días que divide ese tiempo en cuatro fases y cada fase, a su vez en 7 días. Aquí se construye el concepto de semana que está constituida por siete días.

Eso es construir el tiempo a partir de un fenómeno periódico y lo hizo el hombre en los primeros tiempos de su existencia. Al descubrir que había imprecisiones, se crea la unidad del día solar. Los romanos acumulando esos conocimientos de cultura, lo llevan a una expresión brillante, generando el calendario juliano. Este calendario está muy cercano al de hoy en día que es el calendario gregoriano, generado por la iglesia cristiana. ¡Eso es cultura! La Ciencia es cultura, es creación y expresión de individuos o grupos.

¿Podría quedarse la creatividad del hombre sobre el concepto de tiempo en un calendario? La creatividad del hombre es infinita y trascendente. El hombre avanza e incursiona en la unidad básica del día y la subdivide en dos partes: el día propiamente dicho y en la noche. Descubre que ese tiempo es irregular.

porque depende del mes del año y hay días más largos y noches más cortas y viceversa. Al darse cuenta, toma el día “medio” como referencia. En este caso, el día propiamente dicho debe ser igual a la noche. Busca una unidad que subdivida la noche y el día propiamente dicho en partes iguales y que a su vez, esta unidad más básica la pueda contar con un método simple. En esa búsqueda, observa su cuerpo y descubre que hay varias alternativas. Una de ellas nace al tomar todos los dedos de su cuerpo; serían 20 dedos. Muchas civilizaciones tomaron el número 20 como unidad básica. Tomemos como ejemplo el pueblo galo, cuya herencia persiste todavía en la lengua francesa moderna en la cual el número ochenta se escribe: “cuatro veces veinte”. Otros pueblos utilizaron los dedos de las manos creando un sistema en base diez, denominado sistema decimal. La revolución francesa llevó a su máxima expresión el sistema decimal. Hoy somos herederos del sistema métrico decimal a través del Sistema Internacional de Unidades. Por otro lado, los anglogermanos prefirieron caminar sobre un sistema en base doce, cuyo origen lo encontramos en las falanges de los cuatro dedos de la mano, exceptuando el pulgar, que por comportarse diferente a los otros dedos, no juega esta partida. Si multiplicamos esas doce falanges por los cinco dedos de la otra mano, encontramos el número 60, que sirvió de base para dividir, a su vez, cada una de las doce horas del día y cada una de las doce horas de la noche dando como nueva unidad básica del tiempo al minuto. El minuto a su vez se dividió en 60 segundos. Hoy día subsiste en las unidades del tiempo la subdivisión anglogermana.

Actualmente, somos capaces de medir tiempos tales como el tiempo que toma un proyectil en recorrer una distancia como un milímetro. Y a medida que la tecnología se desarrolla, mediremos, cada vez, tiempos más cortos y tiempos más largos.

La Relatividad Especial de Alberto Einstein condujo a tomar conciencia de que la cuarta dimensión del espacio de los fenómenos es el tiempo. Que al igual que su homólogo, el espacio, el tiempo es relativo, lo que hace el concepto de simultaneidad (o instante) también relativo. Desde esa perspectiva, debe haber un tiempo local y un tiempo universal.

El tiempo universal debió nacer hace mucho tiempo. Posteriormente, se dirá que es aquel tiempo que nace con el Big-Bang. Posee simetría de cono y sus cotas (límites) están en los bordes del cono de luz. El tiempo local impide que los sucesos de la naturaleza espacial pura estén conectados casualmente. Ese fue un asombroso aprendizaje que nos legó la Relatividad Especial. No sólo el tiempo pasó a ser relativo, también la expresión de la materia y su movimiento. Esto fue el elemento clave para la famosa expresión que la materia y la energía son dos expresiones de una misma realidad ontológica.

Por otro lado, la Física cuántica nos expresa de manera enfática que el tiempo es un parámetro, por lo tanto, tiene dificultades en ser medido desde el punto de vista del nuevo concepto de medición. Sin embargo, no vacila esta nueva disciplina de la Física en dar la dimensión epistemológica de magnitud operacional al concepto conjugado, que es la frecuencia, a través de la energía, relación lograda brillantemente por la ecuación de Planck. Estos resultados indican de una manera elegante, que el mundo es más alométrico (luego admite modelos icónicos) que invariante de escala. Y entonces, Piaget tenía razón, el tiempo es una construcción mental del hombre sobre la base de los fenómenos de la naturaleza.

El tiempo es generador de una simetría, que se traduce en conservación de la energía, su variable conjugada. La expresión de esa simetría la plasmó la naturaleza en una estructura matemática del fenómeno cuántico: la ecuación de Schrodinger.

En el último cuarto del siglo veinte, la geometría fractal hace su incursión epistemológica en la Física y en el mundo tecnológico, creando nuevos horizontes en el concepto ergódico. Este había nacido como una necesidad de hacer promedios estadísticos sobre conjuntos (ensambles) para sustituir los promedios temporales, difíciles de alcanzar. Actualmente, la geometría fractal y el caos determinista justifican que lo que cuenta no es la evolución temporal de ciertos sistemas restringidos a regiones de comportamientos característicos de universalidad, sino sus vertientes y atractores en el espacio de parámetros. Los promedios estadísticos o las tendencias estadísticas revelan los

mismos resultados, de manera natural, que en la hipótesis ergódica tirada epistemológicamente por los cabellos en las concepciones clásicas de la Física Estadística.

## **La fractalidad en la Naturaleza**

Los fractales son materia de recuperación ideológica y hasta tecnológica temprana. La IBM usó los resultados de Benoit Mandelbrot para la síntesis de imágenes. Él, a través de su geometría fractal, cambió varios paradigmas de la ciencia moderna.

La importancia y la necesidad de profundizar sus conocimientos sobre el concepto de tiempo no impidió al hombre admirar y tratar de penetrar los mecanismos de funcionamiento de los astros. Figuras prominentes como Tycho Brahe (que dedicó treinta años de su vida a la observación de los astros), Galileo Galilei (que creó la ciencia moderna) y Sir Isaac Newton (que escribió un monumento de ciencia moderna en su Principia Matemática) se interesaron en los astros, su naturaleza, sus movimientos, sus distancias, etc. Por ejemplo, Galileo estudió las lunas de Júpiter y los planetas cercanos. Y como la necesidad obliga, la creatividad lo llevó a desarrollar el telescopio. Newton, con su genialidad, identificó la gravitación universal en su dimensión de estructura matemática. Obras maestras de la tecnología como el telescopio de Hubble, permitió conocer las fronteras del universo visible. ¡Y qué belleza nos deparaba la naturaleza al revelarnos la naturaleza fractal de su frontera!

Preguntas naturales surgen en la forma de ver el mundo como mortales que somos. ¿Qué es un sol o estrella? ¿Cuál es su diferencia con un planeta o con un cometa? ¿Mueren los soles? Y muchas preguntas más son y siguen siendo inquietudes que encontramos desde el hombre común hasta el más culto. Hans Bethe nos dio los primeros elementos de la nucleosíntesis que tiene lugar en los soles o estrellas. Eso quitó parte del gran misterio que lo envolvía y dio paso a la Ciencia en el estudio de las estrellas. Casi simultáneamente, Gamow nos hizo soñar con

viajes espaciales con sus obras literarias de Ciencia Ficción y sus atrevidas suposiciones.

Posteriormente, se descubrió que las cuasi estrellas o cuasares, que observábamos con los nuevos telescopios como el del monte Palomar, son en realidad galaxias lejanas. Al reflexionar sobre los resultados experimentales que indicaban que se alejaban con rapidez cada vez mayor, se genera la hipótesis de la expansión del universo. Con ello estaban dadas las condiciones para elaborar una nueva cosmovisión que incluiría el big-ban, o “explosión” primaria. Para satisfacción de las religiones, esto podía ser asociado a concepciones creacionistas.

El big-bang sugiere nuevas preguntas. Entre ellas, ¿es abierto o infinito el universo? ¿Es curvo o plano? Los resultados de Hubble y su muy importante ley que señala que en esta época de evolución del universo, la distancia es proporcional a la rapidez de expansión, y junto a una gravitación universal conducen a tres posibilidades. Estas salen de los distintos valores de la densidad comparadas con una densidad crítica. La explosión de resultados es de esperar. Y a la vez, las especulaciones sobre universos infinitos o finitos forman parte de las reflexiones ingenuas. Eso no es malo, forma parte de la cultura popular. Esta cultura popular debe ser orientada hacia expresiones culturales organizadas. En ese sentido, y para el caso de la Física Cuántica, las contribuciones de pintores célebres como Escher son de un valioso aporte. ¿Qué puede pedir el cuadro de la paradoja de los peces y de las aves en su mutua creación una de la otra, a la paradoja de que los electrones no tienen trayectoria?

La historia muestra similitudes de ese género. Podríamos mencionar en el mismo orden de ideas, cómo las fugas de Bach contienen lo que los matemáticos, por medio de las estructuras lógicas, encontraron como las series convergentes o las series armónicas de Fourier.

Las simetrías de traslación temporal o espacial y sus consecuencias aleccionadoras en el dominio de la dualidad cambio-conservación, hacen pensar, ¿por qué otras simetrías no tienen consecuencias tan espectaculares? Todo este nuevo

andamiaje hizo al hombre pensar en los misterios de los cambios de escalas. Los telescopios ayudaban cada día más a superar escalas y a encontrar donde había una estrella, un conjunto de estrellas. Hacía que el hombre alejara su egocentrismo cada vez más, no sólo de la Tierra como centro, sino en su importancia relativa en el universo. Sabemos que existen cientos de sistemas solares similares al nuestro en los cuales puede haber vida, parecida o no a la nuestra.

Estrellas agrupadas en galaxias y galaxias agrupadas en cúmulos de galaxias nos asombran por las propiedades, una vez más, de las escalas. ¿Será que hay estrellas de todos los tamaños? No parece ser, en este caso, un solo problema de escala. La realidad es más compleja y más simple a la vez. Cada día aprendemos más de esas propiedades de escalas.

La evolución estelar que se conoce hoy con mayor precisión por los métodos de investigación y los aparatos que se poseen, indican que una estrella puede evolucionar de una supernova (estrella gigante) a una estrella más pequeña, generando, por nucleosíntesis, elementos pesados en el centro de la estrella. Este núcleo daría origen a los planetas como la Tierra y los gases se juntarían por gravedad para iniciar la nueva estrella. Las estrellas también gastan su combustible, sufriendo un colapso, gravitacional que las llevarían a enanas rojas o estrellas de neutrones. Si continúa el colapso, terminarían en un agujero negro. Este sería similar al huevo original del Big-Bang, pero más chico en masa. Esas hipótesis fantásticas en un tiempo, hoy son verdades que permiten mejorar nuestra visión del universo. Muchos agujeros negros ya han sido localizados en distintas partes del universo cercano y lejano.

La mente rápida ya tiene su propia ciencia ficción moderna. Por ejemplo, el concepto de universo paralelo está de moda en las novelas de ciencia ficción actual. Cualquier joven medianamente informado conoce a Gamow y la obra que describe situaciones de contacto entre dos universos. Cervantes criticó los espacios sociales de los hombres de la época a través de los cuentos de caballería, en su magistral obra Don Quijote de la Mancha. Hoy no se escapan los jóvenes de los cuentos de la televisión. Son los

cuentos modernos del imberbe, no las fábulas de Esopo ni las de la literatura renacentista. Sin embargo, hay nuevas ofertas a través de los cuentos de ciencia ficción que tienen estructura literaria. La perspectiva de buena literatura fue magistralmente demostrada por Humberto Eco, quien en una elegante bofetada a sus detractores, que lo acusaban de academicista sin consecuencias en lo concreto, les mostró que una historia de Sherlock Holmes se puede escribir con todos los cánones de la buena literatura: ***“En el Nombre de la Rosa”***.

Antes, la ciencia ficción se refería al universo cercano y sus astros (marcianos); hoy, no solamente nos acerca el universo lejano (agujeros de gusano), sino también, a los planetas que posiblemente tengan vida y nos hacen menos centro del universo de lo que hasta ahora éramos.

Parecía ciencia ficción la historia de *“impacto profundo”* o *“almagedón”*. ¿Es posible la caída de un meteorito sobre el planeta Tierra? ¿Tiene la vida sobre la Tierra un tiempo finito? Ya es verdad científica la caída de un meteorito (o cometa) sobre la península de Yucatán hace 68 millones de años. Fue una catástrofe de dimensiones planetarias. La marca de dicho impacto se detectó con métodos de gravimetría muy sofisticados. Incluso se determinó la inclinación de la trayectoria del meteorito según la huella o cráter dejado. La presencia de iridio en la capa geológica de la transición cretácico-terciario, los cuarzos maclados y las magnetitas niqueladas son huellas indiscutibles del impacto profundo. La fragmentación de las costras o placas del sial terrestre dejaron atrás la integridad de la pangea original que venían ya fragmentándose, pero a una lentitud de millones de años. Esta nueva fragmentación produjo una actividad volcánica sin precedentes que afectó profundamente la ecología del planeta. Murieron los dinosaurios, las ammonitas, seres abundantes de los mares, y las coníferas captadoras de dióxido de carbono. Se inició un segundo cambio ecológico y abrió el camino a nuevos ensayos de formas de vida. Además, para nosotros los panameños y panameñas, se abrió la oportunidad del surgimiento del istmo del fondo del océano.

El hombre surgió allí después de varios ensayos de calentamientos y glaciaciones. Un ser nuevo, cuyo ensayo sería un reto para la naturaleza misma. Su capacidad de hacer modelos es reflejo de la capacidad de implementar esos modelos que tiene la naturaleza misma. Ese ser, llamado humano, juega cartas dobles. Podría ser él mismo su final. Contamina el planeta, lo altera, lo provoca, lo hiere. Pero también es sublime por su capacidad de hacer modelos. Es autorregulable y aprende a aprender. Tiene un subsistema de memoria, que a su vez emula en el exterior, en su entorno y que le permite el registro de la historia. Tiene autorregulación que le permite la búsqueda de la metacognición. Fabrica un metalenguaje para poder hacer del lenguaje una representación interpretada de la realidad. Las representaciones reales y transmisibles de sus representaciones mentales, las traduce en distintos lenguajes que conllevan a una cosmovisión. Usa lenguaje corporal, gestual, escrito, musical, matemático, diagramático, ideogramático, novelesco, poético, informático, vulgar y culto, de feromonas, científico, etc. Hace ciencia, filosofía, arte, artesanía, tecnología, etc. Es multidimensional, con tendencias desquiciadas de unidimensionalidad.

El hombre hace ciencia y en particular, Física. Desde que nacieron conflictos por los terrenos del hombre sedentario, el hombre necesita medir como extensión de la comparación cualitativa. Esa medición cuantitativa daba seguridad, pues los números son abstracciones que conducen a consenso rápido. Por ello, la Física está anclada en lo más profundo de la civilización del hombre. Está inserta en la cultura y nuestro peregrinar es de rescate. Se le había alejado, no sabemos por qué maleficio de la cultura. El ejemplo astronómico es el más conveniente en este mundo con tendencias unidimensionales. Pero la Física es más rica que los conceptos de universo. Nos impregna la vida y nos orienta las acciones. La medición ha evolucionado con la historia y con la ciencia y la tecnología. Está ligada al espacio y al tiempo, porque la medición es parte del lenguaje de conversación con la naturaleza. La naturaleza nos escucha y nos responde. En ese responder nos suministra armas que permiten transformarla. Pero también nos da armas para transformar la sociedad. Eso pasa por la cultura como

expresiones de la creatividad del ser humano de manera individual o colectiva. Esos cambios de la sociedad pueden ser para bien o para mal. Depende fuertemente de nuestra cosmovisión. Si somos depredadores, la usaremos para fines que consideramos no apropiados. Eso hizo Truman con la bomba atómica. En nombre de la paz hirió y mató miles de personas. Se sirvió de un secreto que nos reveló la naturaleza en nuestro conversatorio con ella. Eso hacen otros, como los que atacan países para buscar armas de destrucción masiva y después de muchos muertos (100 000), declaran que no habían. Son los Truman modernos.

### **A manera de conclusión**

En conclusión, dentro del conjunto de creaciones y formas de expresión del hombre o de grupos humanos están las formas creativas y expresadas en forma matemática para describir el universo cercano y lejano. Estas se dan en formas individuales y colectivas. La Física es parte de la cultura de la humanidad. Es creación del hombre, que nace del diálogo con la naturaleza. El hombre crea el tiempo a través de un análogo que descubre en la naturaleza, la frecuencia de los fenómenos. La energía es su variable conjugada que da sentido a la medición. El hombre crea otras cosas más, hace modelos físicos, que expresa a través de un lenguaje que está signado por su interpretación de la realidad o su cosmovisión. Si no queremos ser hombres unidimensionales del siglo XXI, debemos aceptar que la Física es parte de la cultura y espantar el fantasma inverso de la unidimensionalidad del hombre de mayo del 68 y conjurar lo que José Ingenieros llamó el "*El hombre Mediocre*".

## **Referencias Bibliográficas**

1. Nieto, M. Poder y Conocimiento Científico Nuevas Tendencias en Historiografía de la Ciencia. Historiografía Crítica No. 10.
2. Marcuse, Herbert: One Dimensional Man (Boston: Beacon Press. 1964. Second edition. 1991).
3. Thuiller, P. (2001). Galileo y la Experimentación. Mundo Científico N° 26.

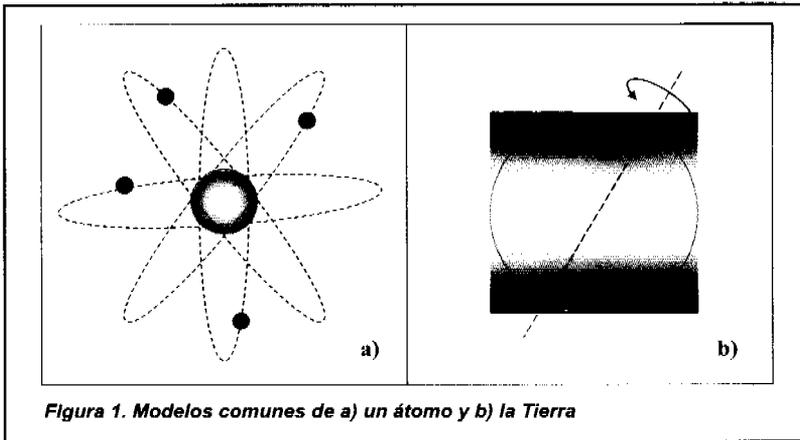
# La Luz es...Ondas y Partículas

Adriano Ibarra Durán  
[Adrian\\_ibarra@hotmail.com](mailto:Adrian_ibarra@hotmail.com)

¿Qué es la luz? Intente por un minuto dar respuesta a esta pregunta. ¿Qué respondería? La verdad es que poco se reflexiona sobre esto, pero es innegable el papel que este “ente” ha jugado y juega en la evolución y desarrollo de la humanidad. ¿Es la luz algo sólido? ¿Líquido? ¿O gas? ¿O algo más? La verdad no es ninguno de ellos, pero, ¿cómo lo describimos? Utilizando un Modelo Físico.

Un Modelo Físico es una representación de un sistema (o fenómeno) mediante elementos más o menos comunes, cuyo comportamiento se conoce con cierta exactitud. En este sentido, la imagen del átomo como una esfera central, alrededor de la cual gira un cierto número de esferas, aun más pequeñas, llamadas electrones, es un modelo simplificado de tal sistema (fig 1a). Considerar algunas galaxias como “*espirales*” es otro modelo útil. De hecho, imaginar a la Tierra como una esfera que rota sobre su eje, es otro modelo muy familiar (fig 1b). En síntesis, nuestra comprensión del mundo que nos rodea depende, en alguna medida, de los modelos que utilizamos para representarlos. De allí, la importancia de utilizar Modelos (físicos o matemáticos) que nos permitan explicar el comportamiento de los sistemas y predecir otros, que puedan ser descubiertos.

La luz presenta un ejemplo de sistema cuyo comportamiento debió ser explicado utilizando una serie de modelos, más o menos útiles hasta completar la visión con un modelo relativamente reciente.



## La antigüedad

Los primeros en hacerse preguntas concretas, relacionadas con el fenómeno de la visión y la luz, tuvieron una serie de modelos para explicar algunos comportamientos. Veamos algunos:

Demócrito (siglo IV A.C.) sostenía que la luz era un flujo de partículas emitido por los cuerpos visibles, mientras que Platón (428 - 347 ó 348 A.C.) suponía que nuestros ojos emitían partículas que llegaban a los objetos y los hacían visibles. Aristóteles (384 - 322 AC) por su parte, afirmaba que la luz era un fluido inmaterial entre los objetos y los ojos. Euclides (300 a.C.) introdujo el concepto de rayo de luz emitido por el ojo, que se propagaba en línea recta hasta alcanzar el objeto. Ajascn Basora (965-1039) opina que la luz era un proyectil que provenía del Sol, rebotaba en los objetos y de éstos al ojo.

**Leonardo da Vinci** (1492-1519), durante el Renacimiento, estableció cierta similitud entre la luz, el sonido y las ondas de agua. En efecto, da Vinci advirtió una semejanza entre la reflexión de la luz y el eco. Propuso, entonces, la hipótesis de que la luz podría ser un tipo de movimiento ondulatorio, tal como las ondas formadas en el agua.

Es de destacar que, antes del nacimiento de la ciencia como tal, ya existía la inquietud de confeccionar un modelo para la luz y así

explicar su comportamiento. Parece que la mente humana está predispuesta a combinar elementos simples para explicar relaciones complejas; de allí, tomamos los nuevos conocimientos para construir otros modelos que describan nuestro universo, y repetir el proceso. Esta forma de construcción es puramente humana y ha existido en nosotros, desde siempre.

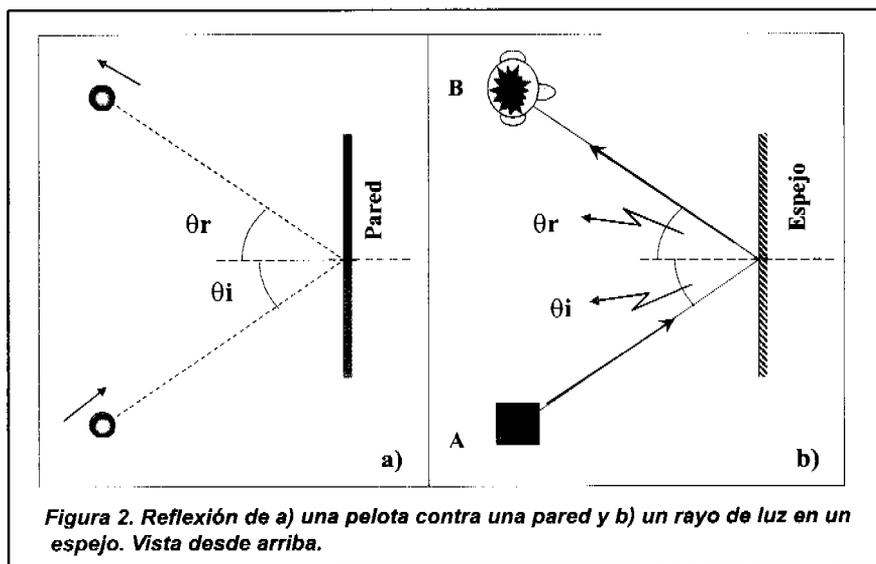
Hasta ese momento, lo único que parecía estar claro era que la luz era necesaria para ver los objetos y que ella viajaba en línea recta. Por ello, no podemos ver objetos ubicados tras nosotros o en la oscuridad. Esto dio origen a asociar la luz con “rayos” emitidos por fuentes luminosas, tales como el sol, el fuego y otras. Esto en sí, fue un avance importante en su comprensión.

## **Las partículas**

**Isaac Newton** (1642-1727), famoso por descubrir las leyes del movimiento, también hizo importantes aportes al desarrollo del estudio de la luz. Cabe señalar, que al estudio de este tipo de fenómenos luminosos, se le denomina Óptica.

En su obra **Opticks**, Newton presentó los resultados de varios de sus experimentos con la luz y su explicación a través de un modelo que se conoce como: El modelo corpuscular. Según Newton, los fenómenos luminosos pueden ser entendidos si se considera la luz como formada por partículas o corpúsculos de masa ínfima que viajan a gran velocidad en línea recta.

Tomemos como ejemplo la reflexión: Los antiguos sabían que un objeto podía verse, aunque no de forma directa, por medio de un espejo. En la figura 2a, al arrojar una bola contra la pared, ésta rebota y puede ser alcanzada por otra persona ubicada en otro punto. Siguiendo este esquema, (figura 1b), Newton sugirió que un rayo de luz proveniente del objeto A, “rebota” en el espejo y llega a los ojos del observador B y así puede ser percibido por éste. En ambos casos los ángulos de incidencia ( $\theta_i$ ) y reflexión ( $\theta_r$ ) son iguales. Esta última es una característica conocida por la reflexión, desde tiempos antiguos.



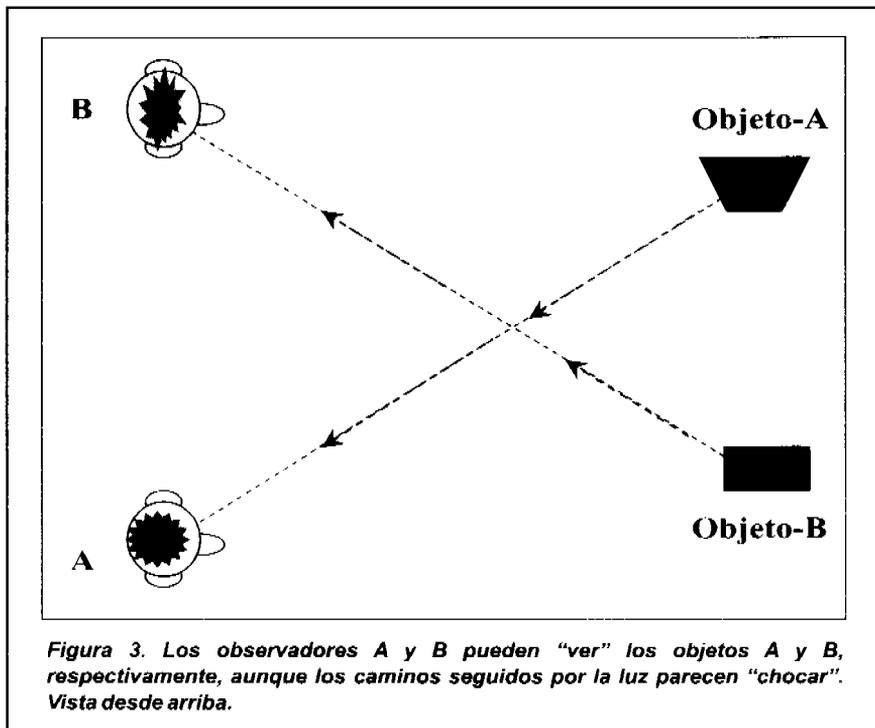
**Figura 2. Reflexión de a) una pelota contra una pared y b) un rayo de luz en un espejo. Vista desde arriba.**

Siguiendo con sus experimentos, Newton logró descomponer la luz en distintos colores. La luz blanca no era de naturaleza “pura”; más bien, estaba compuesta por “otros tipos de luz”. Esto lo logró haciendo pasar luz blanca a través de un trozo de vidrio (prisma), y obtuvo los siete colores del arco iris. Esto, según Newton, se debía a que las partículas de diferentes colores poseían diferentes masas, y experimentaban distintas fuerzas al atravesar el prisma.

Aunque plausible, el modelo de Newton poseía varias deficiencias difíciles de explicar. Por ejemplo: Si la luz es un “chorro” de partículas, ¿cómo la luz proveniente de un objeto no interfiere o “choca” con la luz proveniente de otro objeto, aun cuando sus trayectorias se crucen? Este era un problema importante, ya que es un hecho, que varias personas pueden percibir varios objetos simultáneamente, aunque las trayectorias que siguen las “partículas de luz” se cruzan sin colisionar (figura 3).

Quizás las ideas de Newton estaban inspiradas en el punto de vista de los griegos, y en su enfoque mecánico de la óptica. Así, vio en el modelo corpuscular, una extensión de las leyes de la mecánica a otro campo de la Física. El triunfo de la Mecánica

desarrollada por él, podría haberlo alentado en ese sentido.



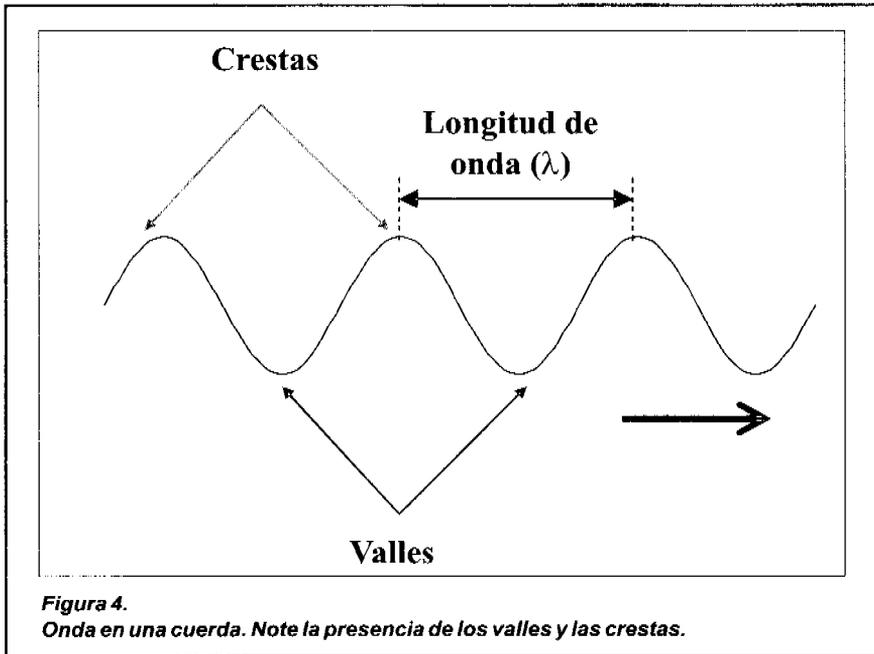
## Las ondas

Contemporáneo de Newton y de su modelo corpuscular, Christian Huygens (1629-1695) desarrolló un nuevo modelo para la luz. El modelo Ondulatorio, propuesto por Huygens, retomaba la idea de da Vinci y hacía de la luz un fenómeno ondulatorio, al igual que el sonido.

Todas las ondas o fenómenos ondulatorios poseen algunas características bien definidas que veremos a continuación. Considere las ondas formada en una cuerda muy larga (figura 4).

Si nos colocamos en un punto cualquiera de ella, podremos notar la formación de los valles y crestas. Asimismo, podremos contar el número de crestas (o valles) que pasan frente a nosotros en un

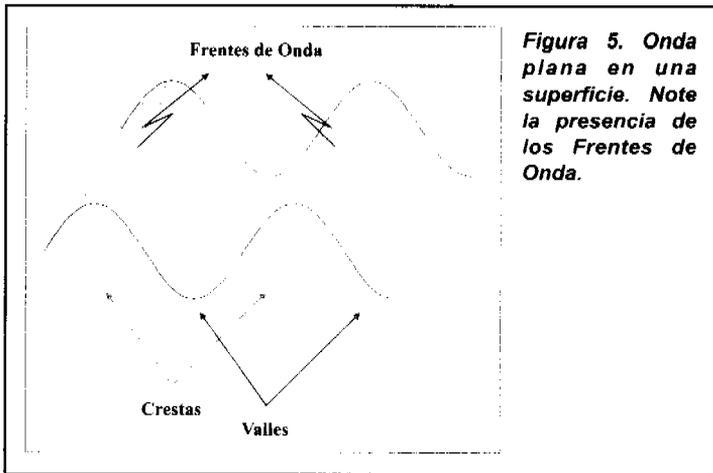
segundo; esto es lo que llamamos frecuencia. La distancia entre



valles (o crestas) se denomina longitud de onda.

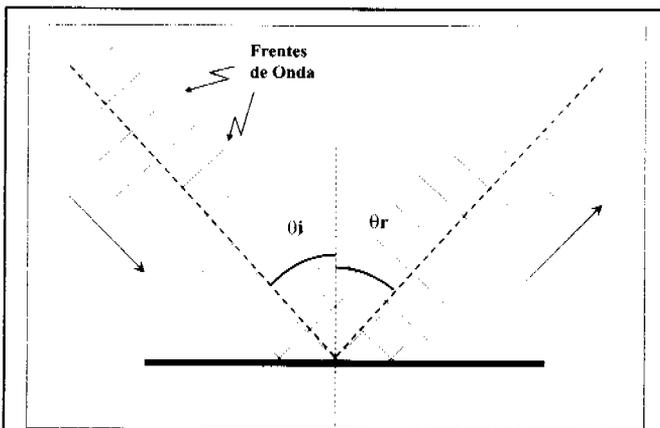
Si pensamos en las ondas formadas en el agua, pensaríamos que todas poseen forma circular, pero en realidad no es así. (Por ejemplo, las olas que llegan a la playa). De hecho, la forma de una onda depende mucho de cómo se forme. Si se forma por una gota o por la yema de nuestros dedos, quizás su forma sea circular, pero si utilizamos una regla, su forma es más bien plana. En la figura 5 vemos una onda plana formada en la superficie del agua. Los Frentes de Onda no son más que las crestas que se forman en la superficie.

Huygens postuló que la luz estaba formada por ondas de una enorme frecuencia, por tanto, que no se podía apreciar su vibración.



**Figura 5. Onda plana en una superficie. Note la presencia de los Frentes de Onda.**

Así, el modelo ondulatorio pudo explicar muchos de los fenómenos luminosos observados. Tomemos el caso de la reflexión: Todos hemos visto que las ondas producidas en recipientes de agua, parecen “rebotar” en el borde del mismo, pero si utilizamos ondas planas y les permitimos “rebotar” contra el borde recto de una gran piscina, notaremos un fenómeno como el de la figura 6. En dicha figura, hemos resaltado los frentes de onda y los ángulos de incidencia y reflexión, los cuales demuestran ser iguales.



**Figura 6. Reflexión de ondas planas. El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.**

Otro aspecto favorable del modelo ondulatorio de Huygens es superar el problema mostrado en la figura 3. Las ondas, a diferencia de las partículas, no “chocan” al pasar por un mismo punto. Hagamos un experimento mental: Suponga una chica y un chico que sujetan los extremos de una cuerda. Si ambos generan ondas (como las de la figura 4), tanto el chico como la chica recibirán las ondas enviadas por su contraparte. No existe tal cosa como el “choque de ondas”.

Los distintos colores en que se descompone la luz blanca fueron interpretados como luz de diferentes frecuencias, siendo la más baja la del rojo y la más alta la del violeta. Hoy día se conoce una mayor gama de “luces” cuyas frecuencias están por debajo (luz infrarroja) y por encima de la luz visible (luz ultravioleta).

En sus inicios, y a pesar de sus logros, el modelo ondulatorio fue dejado de lado, en parte, por objeciones como la siguiente: cómo podía la luz viajar del Sol a la Tierra a través del vacío, si todas las ondas necesitan de un medio para propagarse (agua, cuerda, aire, etc). En el espacio no hay medio alguno que vibre ni que pueda transportar las ondas.

Otro factor en contra del modelo de Huygens fue la fama y la reputación de “*infalible*” de Newton. Su peso como el científico más destacado de su tiempo, hizo que pocos se atrevieran a contradecirlo. De allí, el aparente triunfo del modelo corpuscular.

A inicios del siglo XIX, Thomas Young (1773-1829) obtuvo resultados experimentales que apoyaban la naturaleza ondulatoria de la luz, pero que eran inexplicables según el modelo corpuscular. Aun, bajo el ataque de quienes defendían el modelo de Newton, se realizaron otros trabajos en ese sentido, tales fueron los llevados a cabo por Augustin Jean Fresnel (1788-1827), Dominique Françoise Jean Arago (1786-1853) y Jean Foucault (1791-1868).

Para 1820, la teoría ondulatoria de la luz predominaba en el pensamiento científico. Incluso, para finales del siglo XIX, James C. Maxwell (1831-1879) y Heinrich R. Hertz (1857-1894)

demonstraron, teórica y experimentalmente, la existencia de ondas electromagnéticas, cuya velocidad coincidía con la de la luz (medida por Armand Fizeau en 1849). En aquel momento, y dada la gran cantidad de evidencia en su favor, el modelo ondulatorio fue un paso más allá, al postular que la luz era una vibración del llamado Éter Luminífero, el cual llenaba todo el espacio y que poseía algunas extravagantes propiedades (esto era necesario, ya que las ondas no vibran en el vacío). Por ejemplo, era invisible, sin masa, perfectamente transparente, entre otras. Los experimentos de Michelson y Morley (1881) dieron al traste con la teoría del Éter, lo cual cambió la forma de ver la luz.

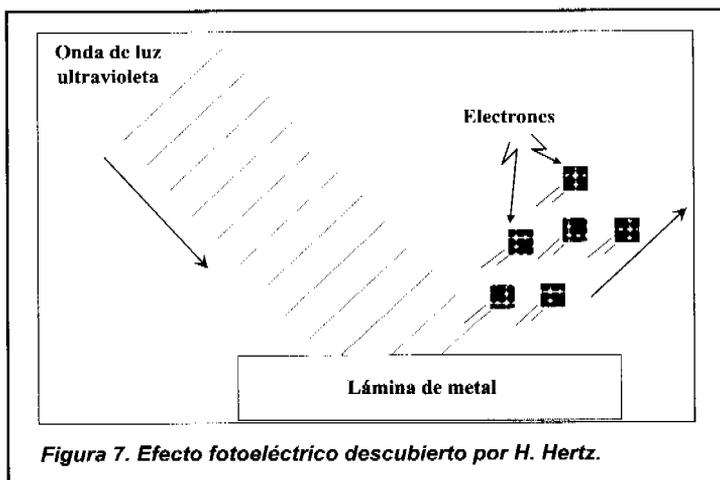
Es entonces, que se entiende la luz como una onda electromagnética, cuyos componentes eléctricos y magnéticos son los que vibran, y que se propaga a 300 000 km/s en el vacío. De hecho, la luz que llamamos "*visible*", forma parte de una familia o gama de radiaciones electromagnéticas. Ellas se resumen en lo que se denomina el Espectro Electromagnético. Y se distinguen por sus frecuencias de vibración y longitudes de onda.

### **La síntesis: modelo onda-partícula**

Aunque triunfante al inicio, el modelo corpuscular fue aplastado por el peso de la evidencia en su contra, y a favor del modelo ondulatorio, pero no sería así por mucho tiempo.

A inicios del siglo XX, se descubrieron algunos fenómenos que no podían ser explicados según el modelo ondulatorio de la luz.

Revisemos el efecto fotoeléctrico, uno de los primeros fenómenos sin explicación satisfactoria. Entre 1886 y 1887, Heinrich Hertz (mientras realizaba experimentos para confirmar la existencia de las ondas electromagnéticas) encontró que al iluminar láminas de metal (bronce) con luz (del tipo ultravioleta), podía extraer electrones de dicha lámina (ver figura 7).



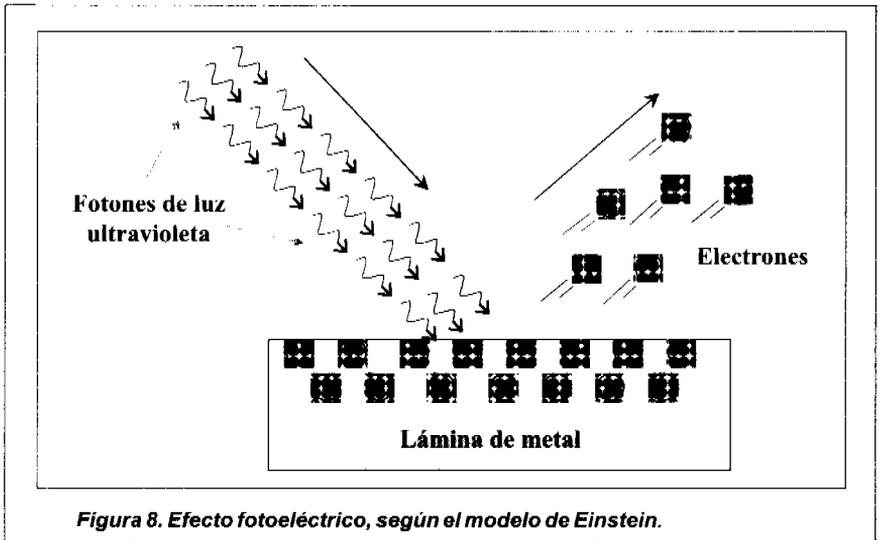
**Figura 7. Efecto fotoeléctrico descubierto por H. Hertz.**

El modelo ondulatorio no tenía una explicación para este fenómeno, por lo que, por primera vez, se puso en duda su validez. Esto es comparable a que las olas del mar, al golpear la costa arranquen las piedras de esta. Un fenómeno así podría darse luego de mucho tiempo, no de forma instantánea como en este caso.

En 1905, Albert Einstein (1879-1955) postula un nuevo modelo para la luz, basado en la propuesta de Max K. Planck (1858-1947), quien había sugerido que la radiación electromagnética podía suponerse constituida por “paquetes de energía”, “cuantos” o fotones. Einstein utilizó y amplió aún más este concepto, en forma de un modelo corpuscular modificado, según el cual los fotones juegan un papel similar a las partículas del modelo de Newton.

En el modelo de Einstein, los fotones son como “canicas” que al impactar a los electrones (vistos también como “canicas”), los extraen del metal. Basta que ellos tengan la suficiente energía para hacerlo (figura 8). Este comportamiento es análogo a “romper un paquete” en el juego de billar.

Cabe destacar que muchos otros fenómenos fueron explicados satisfactoriamente, usando el llamado *Modelo Cuántico de la luz*. Para la década de 1920, y gracias a los esfuerzos de científicos



**Figura 8. Efecto fotoeléctrico, según el modelo de Einstein.**

como N. Bohr, M. Born, W. Heisenberg, E. Schrödinger, L. De Broglie, W. Pauli, P.A.M. Dirac, entre otros, se establecieron las bases de una nueva rama de la física llamada Física Cuántica. Gracias a ella, hoy día se acepta que la luz posee un comportamiento dual. Es decir, bajo ciertas circunstancias se comporta como una onda, mientras que en otras ocasiones, se comporta como partícula (Modelo Onda-partícula). Más aún, algunos corpúsculos como electrones, neutrones y otros poseen un comportamiento ondulatorio, bajo determinadas condiciones. En este sentido, los experimentos utilizados para determinar el comportamiento ondulatorio de luz, también se realizan con partículas (electrones, protones, etc.), y se obtienen resultados similares.

El Modelo Onda-partícula fusiona los comportamientos de ondas y partículas; da a la luz y a la materia un nuevo enfoque. Modelos que, a nivel macroscópico parecen exhibir propiedades diferentes, se funden a nivel microscópico.

## **Conclusión**

A lo largo de la historia de la Ciencia, hemos desarrollado diversos modelos para explicar el comportamiento de la luz, pero

no tenemos que decidir por ninguno. La luz se comporta como lo determina su naturaleza y somos nosotros, los humanos, quienes intentamos imponerle un modelo para entenderla. Ahora tenemos un consenso: ni es onda ni es partícula, es ambas, pero no al mismo tiempo. Bajo ciertas circunstancias es una y en otros casos, otra. ¿Deberíamos buscar otro modelo para la luz? El que tenemos ahora funciona, aunque quizás parezca un poco ambiguo. Sólo el tiempo y/o nuevas evidencias nos llamarían a reflexionar y buscar un mejor modelo para la luz.

## Referencias

1. A b r i e f h i s t o r y o f O p t i c s .  
[Http://members.aol.com/WSRNet/D1/hist.htm](http://members.aol.com/WSRNet/D1/hist.htm). 1996.
2. Alvarenga, B. & Máximo, A. Física General. Harla. México. 1983.
3. Bueche, F. & Jerde D. Fundamentos de Física. Tomo 2. McGraw-Hill. México. 1996.
4. Editorial Santillana. Física 11 (Oscilaciones, Ondas, ...). Colombia. 1995.
5. Fernández Peña C. La Naturaleza de la Luz.  
<http://www.monografias.com/trabajos5/natlu/natlu.shtml>. 1997
6. Genzer, I. & Youngner P. Física Publicaciones Culturales. México. 1972.
7. Hecht E. & Zajac A. Óptica. Fondo Educativo Iberoamericano. E.U.A. 1977.
8. I d e a s s o b r e l a l u z.  
<http://www.educaplus.org/luz/ideasluz.html>. 2004.
9. Resnick, R. Conceptos de relatividad y Teoría cuántica. Limusa. México 1990.
10. Serway, R. Física, Tomo II. McGraw Hill Mexico. 1997
11. Valero, M. Física Fundamental. Tomo 2 Norma. Colombia. 1993.

# La Radiación UVB y la Capa de Ozono en Panamá

Pino, Alfonso; Sánchez, Néstor; Guerra, Sergio; Castillo, Dionel; Maturell, Álvaro; Espinosa, Jorge; Samudio, Hoodmy; Jordán, Luis.

Universidad de Panamá, Laboratorio de Física de la Atmósfera. Tel. (507) 2644450  
e-mail: [atmosfer@ancon.up.ac.pa](mailto:atmosfer@ancon.up.ac.pa)

 Sol, nuestra estrella más cercana, y centro de lo que comúnmente llamamos sistema solar, irradia energía en todas direcciones. Este tipo de energía se denomina radiaciones electromagnéticas. Las radiaciones, mientras más energéticas, son más peligrosas. Entre éstas están: Radiación Gamma, Rayos X, **Ultravioleta (A, B y C)** y las infrarrojas.

Nos vamos a ocupar en este artículo de la radiación UV-A, B y C. De las tres sub-bandas de radiación ultravioleta (UVC, UVB y UVA), la UVC es la que transporta mayor cantidad de energía y, por consiguiente, es la más peligrosa. Sin embargo, afortunadamente, la radiación UVC es absorbida íntegramente por las altas capas de la atmósfera. Esta sub-banda de radiación ultravioleta permite la formación de **Ozono (O<sub>3</sub>)** estratosférico.

Las radiaciones ultravioletas UVB y UVA llegan a la atmósfera. El Ozono (O<sub>3</sub>) es un gas cuyas moléculas están formadas por tres átomos de oxígeno (O). Fue descubierto por C. F. Schönbein en el año 1839 durante sus observaciones de descargas eléctricas. El término ozono se deriva de un vocablo griego que significa "olor". Esto hace alusión al olor agrio que se experimenta en presencia de grandes concentraciones de este gas. El ozono

absorbe el 90 % de la radiación UVB que llega a la estratosfera y, en esta reacción, se genera oxígeno monoatómico (O) y oxígeno diatómico (O<sub>2</sub>). Lo anterior significa que la superficie terrestre sólo recibe un 10 % de la radiación UVB que nos llega del Sol.

En forma natural, la creación de moléculas de Ozono por la radiación UVC es un poco mayor que la destrucción del mismo por la banda UVB. Eso da por resultado que la naturaleza nos proteja de las radiaciones UVB en general. La radiación UVA llega íntegramente a la superficie terrestre. No obstante, los efectos nocivos de la radiación UVA son mil veces menores que los de la radiación UVB, particularmente, en lo concerniente a los daños al ADN, a la proliferación celular y a la carcinogénesis. Lamentablemente, desde finales de la década de 1920, se ha estado utilizando cierto tipo de compuestos químicos formados por cloro y por bromo los cuales eran considerados inocuos y sumamente útiles como refrigerantes. A lo largo de todas estas décadas, se han lanzado a la atmósfera grandes cantidades de **CFC** (clorofluorocarburos), Halones (compuestos de bromo) y otras sustancias químicas que **DETERIORAN la CAPA de OZONO**, haciendo susceptibles a plantas, animales y a la vida del hombre a daños muy severos.

El débil **desbalance** natural entre la producción de Ozono y su disociación, hoy en día, se ha roto. El **cloro** de los compuestos que llega a la atmósfera reacciona con el oxígeno para impedir la formación de **ozono**. En general, los compuestos CFC (Clorofluorocarbonos) en la estratosfera dan origen, a través de diferentes reacciones, a moléculas de ClO, es decir, que impide que se use el Oxígeno (O) para la formación de ozono (O<sub>2</sub>). Esto disminuye sensiblemente el ozono de la atmósfera; por lo que una molécula de cloro puede romper miles de moléculas protectoras (Ozono).

El tirar a la atmósfera gran cantidad de productos con CLORO y otros compuestos, en forma de gases (bromuros, aerosoles, gases refrigerantes, etc.), o de origen natural como son las erupciones volcánicas que son capaces de romper la molécula protectora de ozono y convertirla en una molécula inútil para la

protección de los seres vivos, representa un peligro para la vida en nuestro planeta. Es por eso que hablamos del adelgazamiento de la capa de ozono por mecanismos antropomórficos.

El hombre en su desbocado desarrollo lo está causando. Pero conocer con más certeza las condiciones de esa radiación en nuestro medio, nos ayudará a prevenir mejor los daños que ella puede causar. La ciencia, responsablemente, debe ayudar a educar a la gente sobre las características de esta radiación, los daños que puede causar y las medidas que hay que tomar para minimizarlos. Sabemos que debemos aprender a vivir con el sol de una manera inteligente, aprovechando el lado beneficioso de esta radiación y sabiendo cuidarnos de los daños, que pueden ser letales.

## **Daños que ocasiona el aumento de la radiación UVB**

Los efectos de las radiaciones ultravioletas sobre la vida en el planeta los podemos sintetizar así:

- Daños a la salud humana: cataratas, cáncer de piel, disminución de las defensas inmunitarias
- Interferencia en el mecanismo de fotosíntesis
- Impactos negativos sobre el crecimiento de las plantas y deterioro de las cosechas
- Daños al ADN
- Inhibición en el crecimiento del Fitoplankton
- Eritema agudo, queratitis
- Carcinomas basocelulares, carcinomas escamosos, melanoma maligno
- Aumento de la sensibilidad a las infecciones cutáneas
- Carcinogénesis

Se ha estimado que un tercio de la población de ranas y sapos en los E.U.A. se encuentra en peligro. La UVB puede ser responsable en parte de este problema.

## **Factores que afectan la cantidad de UVB que recibimos**

- El tipo de superficie sobre la que uno está parado. En el agua y en la arena se recibe mucho más radiación UVB.
- La altura del lugar donde uno está. Se recibe mucha más radiación UVB en Cerro Azul o en Cerro Punta debido a la altura, que hará que menos nubes nos protejan.
- La clase de vestimenta que usamos. Entre más nos descubramos, más vamos a estar expuestos a la radiación. Note la parte interna pegada al cuerpo, de sus brazos y antebrazos y notará la diferencia.
- La nubosidad. Entre mayor sea la nubosidad y entre más negruzcas sean las nubes más nos protegen, pues impiden el paso de la radiación UVB.
- La estación del año. En Panamá, hay más nubes en la estación lluviosa y mucho menos en el verano. Además, el espesor del ozono protector es menor en estación seca que en estación lluviosa.
- La región de la tierra en que estemos. Cerca del Ecuador hay mayor radiación que en latitudes altas.
- La duración de la exposición al sol. Entre más estemos al sol, más radiación tomaremos y más dosis acumularemos. El efecto es acumulativo.
- La hora del día. En Panamá, la radiación es más intensa entre las 9:00 a.m. y las 3:00 p.m., de acuerdo con el monitoreo de la Universidad de Panamá.

## **El índice UVB, un indicador de la intensidad de la radiación UVB**

El **ÍNDICE UVB** es una medida muy práctica para nuestra protección, pues nos dice cuando vamos a estar expuestos a radiaciones UVB excesivas. Por ende, cada persona, comenzando por los niños, debe ser educada para utilizar el **ÍNDICE**, a fin de tomar medidas de prevención de los daños que pueden causar las radiaciones UV-B, cuando éstas alcanzan

niveles peligrosos para la salud. Es importante recordar que quienes están más expuestos, por no tener suficiente protección, son los NIÑOS (pues su piel no está aún preparada para exposiciones fuertes) y los ANCIANOS por tener una piel más delgada y debido a que sus defensas (sistema inmunológico) se ha debilitado.

Los organismos internacionales han establecido un índice que cuantifica la intensidad de la radiación UVB. En la siguiente tabla se presentan estos índices y el nivel de riesgo que significa estar expuestos a estas radiaciones. Nótese que un índice de 9, ya es catalogado de alto riesgo.

<b>Índice UVB</b>	<b>Riesgo</b>
0-2	Mínimo
3-4	Bajo
5-6	Moderado
7-9	Alto
Mayor a 10	Muy alto

### **Efectos sobre la piel**

Para efectos de la radiación UVB, la piel de la persona juega un papel de importancia. Se pueden catalogar en cuatro grandes grupos los tipos de pieles:

- I- Piel no expuesta blanca, de tono lechoso. Al tomar sol siempre se quema fácilmente, luego cambia de piel. Nunca llega a broncearse o lo hace muy lentamente.
- II- Piel no expuesta blanca o de tono apenas marrón. Se quema fácilmente y puede cambiar la piel. Apenas se puede broncearse con tono marrón suave o medio.
- III Piel no expuesta de tono marrón más o menos intenso. Rara vez se quema, se broncea rápidamente y en forma intensa.

- IV- Piel no expuesta de tono marrón intenso o negra. Nunca se quema , se broncea intensamente y en forma rápida.

## **Índice y tipos de piel**

A continuación se listan para cada tipo de piel, el índice UVB y el tiempo a partir del cual el Sol va a producir un ENROJECIMIENTO de nuestra piel. Para niños y adultos con pieles de Tipo I ó II, el índice UVB y el tiempo de enrojecimiento de la piel es:

- 1-2 (60 minutos)
- 3-4 (40 minutos)
- 5-6 (25 minutos)
- 7-8 (20 minutos)
- 9-10 (15 minutos)

Para adultos con pieles de Tipo III ó IV, el índice UVB y el tiempo de enrojecimiento de la piel es:

- 1-2 (60 minutos)
- 3-4 (60 minutos)
- 5-6 (60 minutos)
- 7-8 (40 minutos)
- 8-10 (30 minutos)

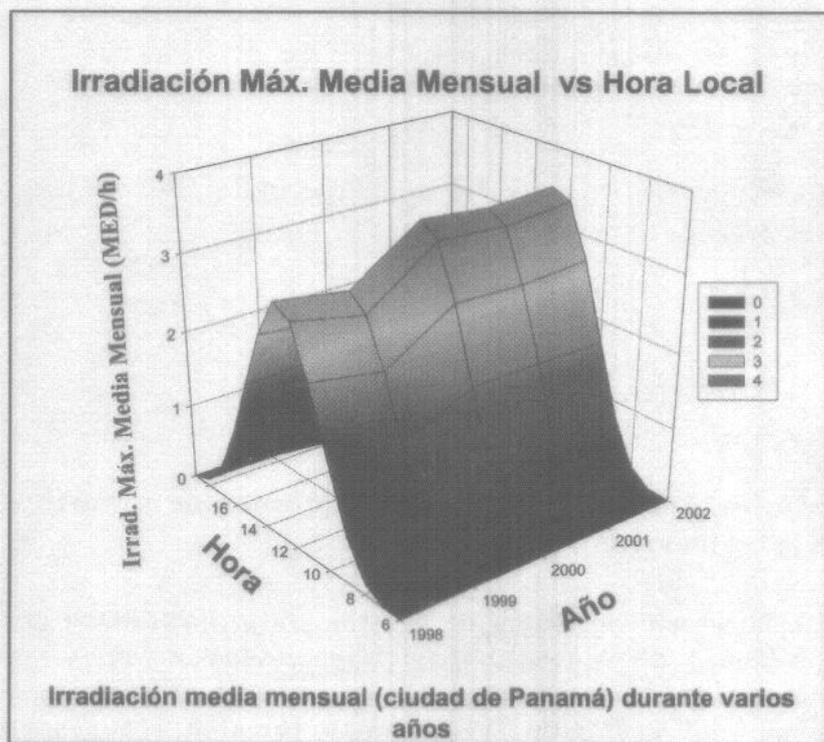
## **Estudios realizados por las estaciones de monitoreo de la Universidad de Panamá**

El **Laboratorio de Física de la Atmósfera (LABFISAT)** de la Universidad de Panamá, bajo la coordinación del Profesor Alfonso Pino Graell, está midiendo diariamente y en tiempo real, los niveles de **radiación UVB, así como también, el espesor de la capa de Ozono**. En adición a estos importantes parámetros, desde 1997, se miden otras variables atmosféricas, tales como Radiación Solar Global, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Presión Atmosférica, Espesor Óptico de Aerosoles, Velocidad y Dirección del Viento, etc. Actualmente, el **Laboratorio de Física de la Atmósfera** administra una Red de

Monitoreo de los parámetros atmosféricos en mención. Dicha Red cuenta con 3 estaciones a lo largo del territorio nacional. Las mismas están localizadas en las ciudades de Panamá (Universidad de Panamá), Santiago (Centro Regional Universitario de Veraguas) y David (Aeropuerto Enrique Malek).

### Resultados del monitoreo de las radiaciones UVB y el espesor de ozono en Panamá

La toma de datos comienza con un sensor o radiómetro que

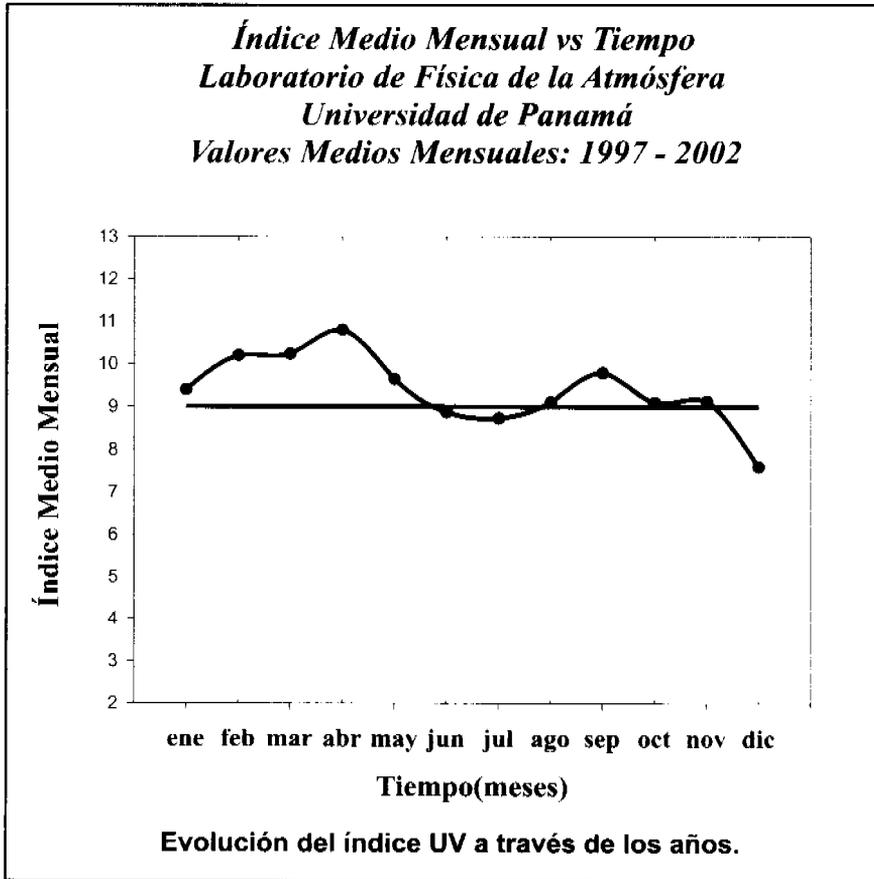


almacena las mediciones, luego por medio de las PC y un software, analizamos los datos, finalmente, van a salir en forma de gráficos o de tablas.

Nótese que es entre las 10 a. m. y las 3:00 p.m. donde la radiación es máxima y la misma pasa por un máximo en horas cercanas al

protegermos mucho más por otros medios, pues el ozono nos va a proteger menos.

La variación anual del Índice UV se presenta a continuación. Destacamos que en promedio, el Índice UVB es del orden de 9 a

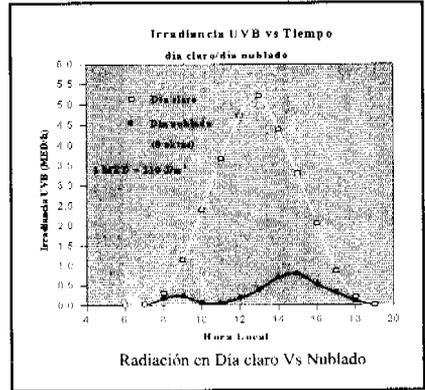


lo largo del año, lo que nos dice que es muy alto en promedio y hay mucho tiempo en que es muy peligroso.

La gráfica que se observa a continuación muestra el comportamiento del Índice UV durante el año 2004, en las tres estaciones de la Red de Monitoreo que administra el Laboratorio de Física de la Atmósfera de la Universidad de Panamá. Como se puede apreciar en el gráfico, los índices más altos de radiación

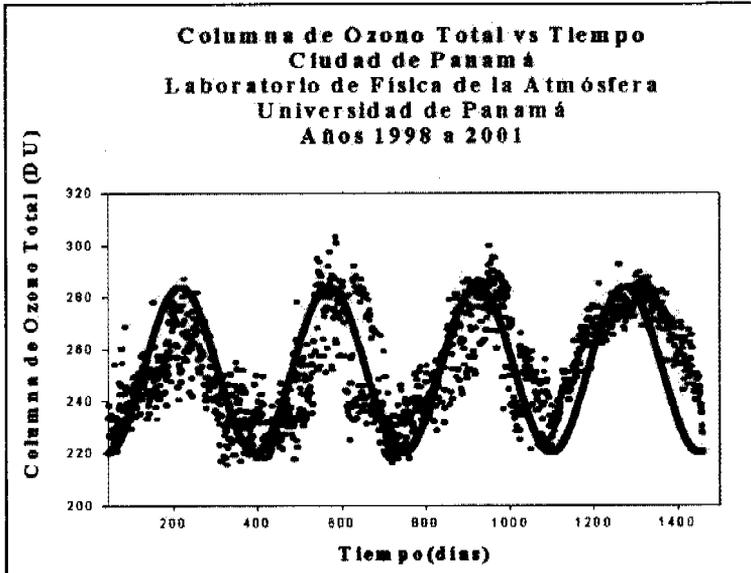
mediodía.

El efecto de la nubosidad sobre la radiación que recibimos en Panamá, se presenta en la gráfica adjunta. Nótese la disminución de la radiación UVB en días nublados (curva más baja). Aquí se puede remarcar que las nubes NOS PROTEGEN grandemente de los efectos de la radiación UVB.

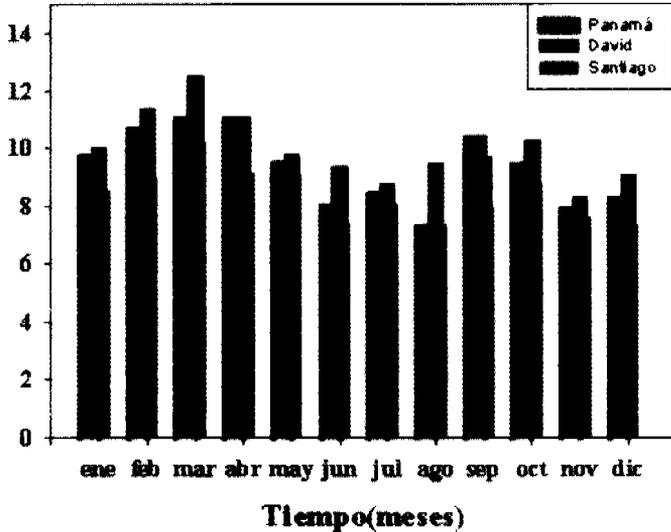


En días claros estamos muy expuestos a dicha radiación. Es importante señalar que son las nubes negras las que más nos protegen.

Los resultados del monitoreo del espesor de ozono en Panamá se presentan a continuación. De las gráficas obtenidas, se puede apreciar que el espesor de ozono oscila a lo largo del año y que es en los meses de verano cuando pasa por sus valores mínimos. Eso equivale a decir que es en esos meses cuando debemos



**Indice UVB Media Mensual vs Tiempo**  
**Ciudad de Panamá - Ciudad de David- Ciudad de Santiago**  
**Año 2004**



ultravioleta los tiene la ciudad de Panamá, le sigue David y luego Santiago

### **Recomendaciones**

Los cuidados para protegerse de las radiaciones ultravioletas deben extremarse en los días muy claros, alrededor de las horas del mediodía, en las playas y montañas, y cuando se este en vestido de baño y al sol.

En Panamá, no debemos exponernos a la radiación solar en horas que van de las 9:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. y menos en días soleados o en el verano. Las nubes negras son las que más nos protegen de la radiación UVB.

Para protegernos de las radiaciones ultravioletas se recomienda: Usar paraguas, aplicarse varias capas de protectores solares a intervalos de tiempo regulares, y usar lentes contra UV

certificados por instituciones especializadas. Usar camisas de mangas largas o camisetas con mangas en caso de alta radiación (el color blanco refleja más cantidad de radiación); usar gorras o sombreros con viseras grandes. Ponerse a la sombra de los árboles o los techos. Nunca se debe exponer a los niños ni a los ancianos a las radiaciones solares intensas.