

# El legado de Einstein

## Entrevista a Herwig Schopper

El pasado junio, las Naciones Unidas declararon 2005 el Año Internacional de la Física e invitaron a la UNESCO a dirigir la celebración del 100º aniversario de los legendarios artículos de Albert Einstein sobre la relatividad, la teoría de los cuantos y el movimiento browniano.

Herwig Schopper, ex Director General de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, 1981-1988), fue galardonado en 2004 con la Medalla de Oro Albert Einstein de la UNESCO, por los servicios prestados a la física y a la cooperación internacional. Actualmente preside el Consejo de Administración del nuevo centro de investigación SESAME para el Oriente Medio, fundado bajo los auspicios de la UNESCO. En las siguientes líneas, Schopper describe cómo la teoría de Einstein revolucionó las ideas sobre cuestiones

fundamentales, y cómo este hito supuso a su vez una revolución de la sociedad en la que vivimos. Según sus palabras, aún queda mucho tiempo para que la aventura concluya.

**¿Por qué se recuerda 1905 como el *annus mirabilis* o año milagroso?**

Einstein formuló dos teorías de la relatividad: la primera, la teoría especial, extiende la mecánica de Newton a los límites de la máxima velocidad posible, la velocidad de la luz. Algunas de las consecuencias de esta teoría parecen contradecir completamente el sentido común.

Sin embargo, esas consecuencias han sido confirmadas por innumerables experimentos. Por ejemplo, existen pruebas empíricas de que los relojes tienen distinta pulsación en sistemas que estén en movimiento relativo respecto de otros, o de que la

masa de un cuerpo depende de su velocidad. Otra consecuencia es la posible transmutación de la energía en materia y viceversa. Esta comprobación, emanada de una nueva investigación fundamental sería la base en que se sustentaría la aplicación pacífica y militar de la física nuclear para la producción de energía.

Como la mecánica cuántica, la relatividad especial ofrece un nuevo marco para describir la naturaleza, lo que, sin embargo, debe complementarse con investigaciones adicionales e independientes sobre el comportamiento de la materia y las fuerzas que actúan en la naturaleza. El término “relatividad” ha suscitado un gran número de malentendidos.

La teoría especial no pone en duda los resultados científicos; por el contrario, se basa en “invariables” que no dependen de la posición del observador. La teoría general de la relatividad intenta explicar la fuerza de la gravedad en función de la estructura espaciotemporal.

El efecto de la relatividad en la vida cotidiana es insignificante; no obstante, la relatividad debe tenerse en cuenta para el sistema mundial de determinación de posición de la navegación — otro ejemplo de cómo determinados efectos de la investigación fundamental pueden ofrecer la ventaja imprevista de prestarse a aplicaciones prácticas.

**Las teorías de Einstein y la investigación ulterior en el ámbito de la física nuclear prepararon el terreno para la bomba de hidrógeno, que daría al género humano la capacidad de autodestrucción. Esto, unido a las catástrofes de las centrales nucleares de Three Mile Island en 1979 y Chernóbil en 1986, por no hablar de los persistentes problemas de la disposición final de los desechos radiactivos, han provocado una actitud recelosa respecto de la física nuclear. ¿Se justifica hoy esta reputación?**

Esta visión carece del más mínimo fundamento por una serie de razones. Además del uso de la energía nucleoelectrónica, la física nuclear se ha prestado a muchas otras aplicaciones. El diagnóstico de la medicina moderna no puede concebirse sin el recurso a los efectos nucleares. La aplicación más importante es probablemente la formación de imágenes por resonancia magnética nuclear, que dio origen a los escáneres utilizados en medicina. Paradójicamente, el término “nuclear” se ha suprimido para no asustar a los pacientes, lo que demuestra que la actitud pública respecto de las cuestiones nucleares es un tanto prejuiciada e irracional.

Los rayos X se han convertido en un instrumento indispensable para la medicina desde que fueron descubiertos por el físico alemán Wilhelm Roentgen en 1895. Actualmente se utilizan sobre todo en tomografía, método para producir imágenes de secciones transversales del cuerpo. Casi todos los hospitales emplean aceleradores de partículas, como los betatrones y los aceleradores lineales, para el tratamiento del cáncer con rayos X, y las fuentes de radiación sincrotrónica están pasando a ser un instrumento inapreciable para muchas otras aplicaciones en

la investigación y la industria. Los isótopos radiactivos no sólo se utilizan ampliamente para fines terapéuticos en medicina, sino también para el ensayo de materiales. El diagnóstico PET destruye la materia con antimateria para obtener información sobre el metabolismo interno del cerebro. Los protones y otras partículas pesadas se estudian como instrumentos para tratar determinadas formas de cáncer, como el del cerebro.

Esto es sólo una pequeña muestra de las ventajas que las aplicaciones de la física nuclear ofrecen a la humanidad. Desgraciadamente, el público asocia en gran medida la física nuclear a la bomba atómica. Esta mala fama se debe al hecho de que los procesos físicos para fabricar una bomba atómica son muy parecidos a los que intervienen en la producción de energía para fines pacíficos, los cuales implican en ambos casos la conversión de la masa en energía, según la famosa fórmula de Einstein:  $E = mc^2$ , es decir, la energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado.

Desde luego, la energía nuclear, como cualquier otra fuente de energía, entraña riesgos que deben tenerse en cuenta. En el futuro, los avances como el uso de la fusión en vez de la fisión reducirán los riesgos. La diferencia entre las dos es que la fusión nuclear une dos elementos ligeros para formar un elemento con una masa mayor, mientras que la fisión divide un elemento de gran masa en fragmentos. Ambos procesos liberan energía, pero los fragmentos producidos por la fisión son muy radiactivos durante un periodo muy largo, mientras que las “cenizas” de la fusión no son radiactivas.

Parece improbable que se pueda evitar el problema ambiental del exceso de CO<sub>2</sub> sin recurrir a la energía nucleoelectrónica. Por supuesto, las fuentes de energía alternativas deben desarrollarse y explotarse todo lo posible, pero será imposible satisfacer la justificada demanda energética del Tercer Mundo sin aprovechar todas las fuentes de energía, incluida la nucleoelectrónica. De hecho, algunos países como China consideran la energía nucleoelectrónica como necesaria para su economía.

**Los decenios inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial fueron una edad de oro para Europa, los Estados Unidos y el Japón, donde inventos como el frigorífico, la lavadora y el transistor de radio generalizaron una vida más cómoda e impulsaron el crecimiento económico ¿Estamos viviendo una nueva edad de oro?**

Durante muchos siglos, las buenas condiciones de vida estaban reservadas a la nobleza, un estrato minúsculo y privilegiado de la sociedad. Esta situación comenzó a cambiar drásticamente a mediados del siglo XIX con la evolución de tecnologías modernas como la máquina de vapor, el ferrocarril y la electricidad, cuyo progreso sigue siendo hoy la base de nuestro desarrollo. Sólo gracias a las tecnologías modernas se ha podido aumentar la producción de modo tal que beneficie a la mayoría de la población<sup>1</sup>, aunque sea principalmente en los países industrializados. Sin esta revolución técnica no habría podido abolirse la esclavitud, abierta o encubierta, ninguna nueva ideología social habría podido resolver el problema de un abastecimiento suficiente de alimentos, vivienda y tiempo para

actividades culturales. En realidad, ni siquiera se habría podido desarrollar la democracia en unas condiciones en las que la lucha por la supervivencia ocupaba prácticamente todo el tiempo de la población.

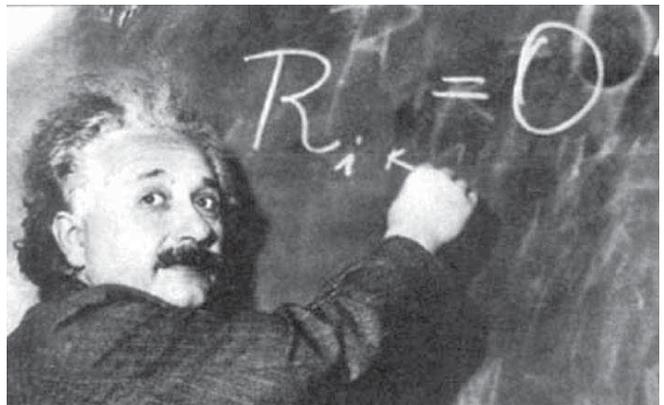
Aunque todas las aplicaciones tecnológicas que han cambiado completamente nuestra vida cotidiana se basan en los resultados de la investigación fundamental, esos resultados se consideraban totalmente improductivos a la sazón. No fue hasta mucho después que se descubrió su importancia para determinadas aplicaciones. Un famoso ejemplo es el de Michael Faraday<sup>2</sup>, que investigó sobre varios fenómenos relacionados con la electricidad. En respuesta a un representante del Ministerio de Hacienda, que se quejaba de que era poco probable que la sociedad sacara algún provecho de este tipo de investigación, Faraday dijo que aunque no era capaz de pronosticar el futuro, estaba convencido de que algún día el Ministerio de Hacienda recaudaría impuestos elevados sobre su investigación. ¡No le faltaba razón! Su labor es la base de las aplicaciones modernas de la electricidad. En cuanto a la computadora personal, ¿quién se hubiera imaginado que influiría tan profundamente en nuestras vidas cotidianas? ¿Quién habría soñado que la web, inventada por el CERN en 1990 para fines relacionados con la física de partículas, la más abstracta de las ciencias, iba a revolucionar las comunicaciones?

Evidentemente, el alto nivel de vida de los países industrializados no está exento de efectos secundarios negativos, en particular los riesgos contra el medio ambiente. Estos problemas sólo podrán resolverse con tecnologías más avanzadas. El principal desafío será introducir esas tecnologías modernas en los países en desarrollo para que ellos también puedan limitar el deterioro ambiental. Si se alcanza este objetivo, se vislumbrará en el horizonte una nueva edad de oro, que esta vez no estará restringida a un pequeño grupo de naciones privilegiadas.

### **¿Cuál es la investigación más avanzada que ocupa hoy en día a los físicos de todo el mundo y cómo beneficiará esta investigación a la sociedad?**

La investigación en física progresa en varios frentes. En la investigación fundamental, la física de partículas y la física nuclear están penetrando más profundamente en el microcosmos para resolver los misterios de los elementos constitutivos de la materia y de las fuerzas que actúan entre ellos. ¿Conocemos todas las fuerzas de la naturaleza? Las fuerzas nucleares potentes y débiles no se descubrieron hasta el siglo pasado. La unión de las fuerzas magnéticas y eléctricas dio lugar a la industria eléctrica moderna, la radio, el teléfono, la televisión y computadoras. El estudio de los átomos<sup>3</sup>, las moléculas y la materia condensada, y la investigación en óptica han revelado nuevos fenómenos como los superconductores de alta temperatura o el llamado estado condensado Bose-Einstein, que dura menos de una milmillonésima de segundo; esto también ha propiciado un conocimiento más profundo de la mecánica cuántica. Como antes, los nuevos conocimientos tendrán aplicaciones inesperadas.

Además, la investigación fundamental se orienta actualmente hacia las aplicaciones, a medida que se difumina el límite entre



la investigación fundamental y la aplicada. La nanotecnología, que se ocupa de objetos mucho más pequeños que un cabello humano, tiene componentes que pertenecen a ambos tipos de investigación.

Quizás el servicio más importante que la investigación fundamental ha prestado a la sociedad en los últimos 200 años es la percepción de una imagen completamente nueva de la naturaleza, el cosmos y la posición del género humano en todo ello, contribución cultural tan valiosa como el progreso material. El hecho de que el trueno ya no se considere la expresión de la ira divina, que la superstición haya sido abolida, que reconozcamos que la Tierra no es el centro del cosmos y que el tipo de materia de la que estamos compuestos no es la más común en el Universo (como se ha demostrado recientemente) se lo debemos a la ciencia moderna. Las consecuencias para el autoconocimiento del ser humano son inmensas.

### **¿Qué le diría al ministro de ciencia y tecnología de uno de los países menos adelantados si le preguntara por qué su país debe invertir en la investigación y la enseñanza de la física?**

Esta pregunta ya me la han hecho varios políticos. Los países en desarrollo hacen frente a problemas urgentes, como el suministro de alimentos y agua, la creación de infraestructura y la reforma educativa. Para remediar estas deficiencias a corto plazo se invierten grandes sumas provenientes de programas de desarrollo estatales u organismos humanitarios. Sin embargo, el abismo entre los países industrializados y los países en desarrollo corre peligro de extenderse en un gran número de casos.

Para recuperar su atraso, los países en desarrollo tienen que encontrar un atajo en la transición desde una sociedad principalmente agrícola o comercial hacia una economía industrializada. Los países actualmente industrializados tardaron unos 150 años en llevar a cabo este proceso. Para cerrar la brecha, los países en desarrollo tendrán que dedicar un pequeño porcentaje de sus fondos disponibles al fomento de la ciencia, la investigación y la enseñanza superior.

Si no invierten en esas actividades a largo plazo, los países en desarrollo tendrán que hacer frente a otros problemas, como el desempleo, durante su industrialización. El empleo agrícola en los países industrializados ha descendido del 60% al 70% de la población adulta hace 150 años a un porcentaje muy

## La contribución de la física a escala mundial en el centro de la atención

El Foro científico del OIEA se contagia de la fiebre de la física en los últimos meses del *Año de la Física*.

El Foro, que se celebra los días 27 y 28 de septiembre como actividad paralela de la 49ª Conferencia General del OIEA, lleva por tema La física y su contribución a escala mundial, y sus reuniones están dedicadas a los problemas y posibles soluciones respecto de la energía nuclear como método para satisfacer las necesidades energéticas. Los participantes del Foro examinarán también la producción de materiales y tecnologías avanzadas para la energía nuclear. La tercera reunión se centra en la utilización de la radiación ionizante con fines de diagnóstico y en el tratamiento de enfermedades como el cáncer, y aborda la necesidad creciente de físicos médicos debidamente capacitados en los países en desarrollo. La reunión final examina el régimen de seguridad mundial.

Puede obtenerse más información en las páginas sobre la Conferencia General del OIEA en: [www.iaea.org](http://www.iaea.org)

Para más información sobre el Año Internacional de la Física, consúltese: [www.wyp2005.org](http://www.wyp2005.org)

reducido actualmente. Los países del tercer mundo tendrán que establecer algunas actividades industriales basadas en las nuevas tecnologías. Países como la República de Corea y Taiwán (China), entre otros, han demostrado que este proceso puede llevarse a cabo en un período relativamente corto.

En muchos aspectos, las tecnologías se basan en la ciencia y especialmente en la física. La física también provee de los principios fundamentales a otras ciencias, como la química y la biología. La solución de numerosos problemas, ya se trate de cuestiones ambientales, ahorro y producción de energía o mejora de diagnóstico médico, por mencionar sólo algunos, requerirá la intensificación de la investigación en física. De hecho, la cooperación interdisciplinaria entre la física y otras materias no sólo es sumamente prometedora, sino que también será esencial en los próximos decenios.

### Si pudiera viajar en el tiempo ¿qué aspecto cree que tendrá la sociedad de 2030?

Las predicciones son siempre difíciles, ¡especialmente cuando se trata del futuro! ¿Quién habría previsto hace 30 años la llegada de las computadoras personales, las tecnologías de comunicación, el gigantesco avance de la atención de la salud o las nuevas posibilidades para el ocio y el esparcimiento humanos, como la televisión por satélite, el disco compacto, el teléfono móvil o el volumen del tráfico aéreo actual. La ciencia y la investigación nos reservan nuevas sorpresas, pero el principal interrogante será si la actitud moral y ética de la humanidad progresará paralelamente a la tecnología. La responsabilidad de que el progreso futuro se utilice en beneficio o en perjuicio de la humanidad residirá en los políticos. El

principal desafío consistirá en garantizar que las ventajas del mundo industrializado desarrollado sean también accesibles para los menos afortunados.

---

*Esta entrevista fue realizada por Susan Schneegans para la revista trimestral de la UNESCO "A World of Science", vol.3, nº 1, enero-marzo de 2005.*

#### Notas

1. Uno de los primeros ejemplos de producción en masa fue el automóvil "Modelo T". En 1914, Henry Ford encargó a su fábrica de Modelo T de Michigan (Estados Unidos) que utilizara únicamente pintura negra: la pintura esmaltada negra tardaba menos en secarse que la de otros colores, de manera que podían fabricarse más automóviles por día a un costo inferior. Gracias a los bajos costos de producción, Ford pudo aumentar los salarios y vender su Modelo T a un precio más asequible. Los precios de venta bajaron de 850 dólares en el momento de su introducción a menos de 300 dólares a principios del decenio de 1920. En consecuencia, las ventas anuales subieron de unas 300 000 unidades inicialmente hasta más de 1,8 millones.

2. Faraday (Inglaterra, 1791-1867) fue uno de los que impulsaron el desarrollo del electromagnetismo. Tenía un auténtico don para la experimentación unido a un talento intuitivo y visionario para la física. La prueba es que en la colección de sus cuadernos de notas de laboratorio no se encuentra una sola ecuación. En el siglo XIX se introdujo el concepto del campo eléctrico como la región situada alrededor de un cuerpo cargado en la que se manifiestan las líneas de fuerza, que actualmente se denominan líneas de campo eléctrico. Su celebridad se debe principalmente a la ley de inducción que lleva su nombre, que es una de las explicaciones fundamentales del electromagnetismo. Su labor sentó las bases del desarrollo posterior de inventos como el motor eléctrico, los transmisores y receptores de televisión, el teléfono, el fax y el horno de microondas.

3. El descubrimiento y el estudio de las características del átomo es quizá el triunfo más eminente de la física del siglo XX. Hoy en día es de conocimiento general que el átomo se compone de electrones, protones y neutrones. El átomo mide 10-8m y el 99,9% de su masa está en el núcleo. El electrón tiene una masa equivalente a 1/1837 veces la del núcleo de hidrógeno y su carga es negativa. Mediante la exposición del átomo a una energía suficiente, se puede desalojar uno o varios electrones. El tamaño del núcleo es del orden de 10-14 m, aproximadamente 10-5 veces el del átomo entero. El protón, situado en el núcleo, contrarresta al electrón con una carga idéntica pero de signo contrario. Los científicos han ideado métodos muy elaborados para adentrarse más profundamente en los secretos de la materia. Los aceleradores de partículas infunden a las partículas velocidades y energías muy altas que, al entrar en colisión, han revelado los pormenores de la estructura interna del átomo. Estas técnicas de investigación se han traducido en inventos prácticos que han revolucionado la biología, la química y la medicina. Cabe mencionar entre estos últimos el microscopio electrónico, el microscopio de efecto túnel y la resonancia magnética nuclear. A finales del siglo XX, los físicos podían estudiar el comportamiento de los átomos con un detalle exquisito.