
LA FÍSICA EN AMÉRICA LATINA

JUAN JOSÉ GIAMBIAGI

Centro Latinoamericano de Física - CIAF - Río de Janeiro - Brasil.

Voy a comenzar este artículo refiriéndome a los avances más importantes realizados en los últimos años en la Física. Me referiré luego al estado de la investigación física en América Latina, para abordar luego su proyección hacia el futuro.

Las fuerzas fundamentales

Los físicos han mostrado siempre una tendencia a entender la naturaleza en función del menor número de ideas y conceptos posibles. Es decir, tuvieron siempre la tendencia a entender experimentos con resultados aparentemente desconectados unos de otros en términos de conceptos más amplios que los englobaran como casos particulares. Newton identificó la gravedad terrestre con la atracción de los planetas por el Sol. Faraday y Maxwell unificaron las fuerzas eléctricas y magnéticas. Einstein unificó geoméricamente los conceptos de espacio y de tiempo. La idea que dominó por algunos años la vida de Einstein fue tratar de unificar los campos electromagnéticos con el gravitatorio en una sola teoría que los englobara como casos particulares. Este sueño de Einstein todavía no se ha cumplido, pero ha ejercido una influencia inspiradora pródiga en los últimos años, generando ideas, experiencias y resultados.

Esta misma tendencia de unificación es la que presiona hoy en día la investigación de los campos de fuerzas que actúan entre las partículas elementales conocidas:

La fuerza gravitatoria actúa entre los planetas y el Sol y entre todas las partículas conocidas. Es la más débil.

La fuerza electromagnética se hace presente en las partículas cargadas, por ejemplo el protón y el electrón. Es responsable de la existencia de los átomos y en principio de los fenómenos de la vida.

Las fuerzas débiles, que actúan también entre todas las partículas, son de muy corto alcance (10^{-16} cm).

La fuerza nuclear fuerte actúa a distancia un poco mayores que la débiles (10^{-13} cm). Esta fuerza es la que mantiene ligados los protones y neutrones dentro de los núcleos de los átomos.

El ideal actual de los físicos es demostrar que estas cuatro fuerzas son diferentes caras de una sola fuerza, de la misma manera como en el electromagnetismo la fuerza magnética y la eléctrica son sus diferentes caras. Schroedinger y Heisenberg también mantuvieron esta filosofía cuando mostraron que las fuerzas químicas (llamadas de valencia) eran una manifestación más del electromagnetismo a la luz de la mecánica cuántica.

En el esquema de Einstein faltaron dos fuerzas que no eran conocidas en el primer tercio del presente siglo: las fuerzas nucleares fuertes y las débiles. Es decir, a Einstein le faltó información experimental. Los éxitos parciales de la filosofía de unificación se dieron con la unificación del electromagnetismo con las fuerzas débiles. Esto Einstein

tein no lo podía prever. El éxito de Glaston, Salam y Weinberg se fundó en intentar una teoría unificada del electromagnetismo con la fuerza nuclear débil. Ellos mostraron que estas fuerzas son dos caras diferentes de una misma fuerza: la ahora llamada electrodébil. Como consecuencia de esta unificación se previó la existencia de dos partículas, una cargada (W^+) y ahora neutra (Z^0), unas cien veces más pesadas que el protón. Estas partículas fueron experimentalmente encontradas en 1983. El esquema que fusiona las fuerzas nucleares fuertes a las dos anteriores, llamado *modelo estándar*, está funcionando de manera muy satisfactoria en la explicación de las reacciones a altas energías observadas entre las partículas elementales.

Supercuerdas

La fuerza gravitatoria ha quedado hasta ahora fuera de todos los esquemas de unificación que han tenido éxito, es decir, que han tenido verificación experimental. Este es un gran desafío cuya solución quedará probablemente para el próximo siglo. El intento de incorporar a la gravitación en un esquema unificado ha conducido a audaces teorías que consisten en cuantificar una línea en vez de cuantificar un punto como se hace en la mecánica cuántica común. Estas teorías son muy bonitas desde el punto de vista matemático. Involucran toda la matemática conocida (y algo más también). En particular, cuando dicha línea es una línea cerrada, la teoría parece también incluir al campo gravitatorio. El problema de estas teorías, llamadas de *supercuerdas*, es que todavía están desvinculadas de las observaciones experimentales y no se sabe bien cuántos años habrá que esperar para que se produzca esa vinculación. Ciertamente, no menos de veinte o treinta.

Una tendencia que se viene acentuando en la última década y en distintos campos de la física es la necesidad de hacer teorías en dimensiones mayores que las usuales. Cua-

tro parece ser el número de dimensiones asociado al electromagnetismo, pero a distancias muy pequeñas surge la necesidad de introducir dimensiones distintas de las usuales. Ello ocurre tanto en teorías de altas energías asociadas a las partículas elementales, como en el estudio de los fenómenos críticos.

Materia condensada

Pasemos ahora a considerar otro aspecto de la física. La llamada física de la materia condensada: el estudio de los estados de la materia en que los átomos están muy próximos entre sí e interactúan simultáneamente con muchos vecinos. Es un área de investigación básica que busca dar una explicación detallada de propiedades y fenómenos en que intervienen muchos cuerpos. Aspectos de particular interés son sus propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas, mecánicas y térmicas. También la física de los núcleos atómicos entra como un capítulo de la física de muchos cuerpos.

En realidad, hoy se engloban con el nombre genérico de materia condensada temas que estaban bajo la denominación genérica de física del estado sólido. La física de la materia condensada es responsable de la mayor revolución tecnológica en la historia del hombre pues es a partir de investigaciones en esta área que surgieron los transistores, los circuitos integrados, los microprocesadores, etc.

Mientras que en la década del 50 los estudios estaban limitados a los sólidos cristalinos, ahora se investigan materiales amorfos, polímeros orgánicos y líquidos. En los últimos años se han producido importantes descubrimientos que llevaron a sendos premios Nobel como el efecto Hall cuántico, los superconductores de alta temperatura, la teoría de los fenómenos críticos y el microscopio de tunelamiento.

La interpretación de los nuevos fenómenos requiere cada vez más el uso de técnicas ori-

ginadas en la teoría cuántica de campos lo que ha inducido a muchos físicos de teoría de campos a incursionar en el área de la materia condensada (estudios de magnetismo, en particular) y viceversa.

Al unificarse los métodos y las ecuaciones, se unifican también las ideas. Por lo mismo, en un resumen a vuelo de paájaro no puede dejar de mencionarse la introducción de conceptos topológicos en la física. En especial, desempeñan un papel de gran importancia en las ecuaciones no-lineales: clasifican los espacios funcionales de las ecuaciones no-lineales y están llamados a revolucionar muchas ideas que hoy se consideran casi definitivas. Los métodos topológicos adquirirán gran trascendencia en el próximo siglo con la *deslinearización* de la Física.

Fotónica

La óptica no-lineal es una disciplina en pleno desarrollo, muy bonita conceptualmente, con muchas aplicaciones tecnológicas. Existe una impresión bastante generalizada de que la fotónica sustituirá a la electrónica, no sólo en las comunicaciones, como ya está ocurriendo, sino también en la microelectrónica, donde el descubrimiento (cuando ocurra) de un amplificador fotónico permitirá aumentar mucho la velocidad de un computador usual. Esto es un objetivo a largo plazo. Mientras tanto, vamos a asistir a la sustitución del cobre por las fibras de vidrio en la transmisión de las comunicaciones.

Ciencia de materiales

A este capítulo pertenece también la llamada ciencia de los materiales, cuyo desarrollo va a tener un gran impacto en el comercio internacional al aumentar la demanda de algunas materias primas y disminuir la de otras (cobre, por ejemplo).

Hoy en día se están desarrollando aleacio-

nes especiales que soportan temperaturas muy altas como el material de los motores de los jets. Al aumentar la temperatura se incrementa la eficiencia del ciclo termodinámico. Esto permite mayores velocidades del avión, lo que, a su vez, influye en la naturaleza del material de construcción del avión.

En los últimos años ha causado verdadera conmoción el descubrimiento de los superconductores de alta temperatura. Hasta 1986 sólo se conocían superconductores que operan a temperaturas muy próximas al cero absoluto, a las cuales únicamente se llega por liquefacción del helio (4 K). Como el helio es muy raro en la naturaleza, este procedimiento es muy caro y todas las ventajas que se derivan de la resistencia nula de los superconductores desaparecen. Pues bien, ese año se encontró que ciertas aleaciones de bario y cobre son superconductoras a temperaturas del orden de la liquefacción del nitrógeno líquido (80 K) con la ventaja que el nitrógeno es mucho más abundante que el helio. Además, el haber dado un salto tan grande en la temperatura apta para la superconductividad hace volar la imaginación y pensar ya que será posible fabricar hilos superconductores a temperatura ambiente y, ahí sí, las consecuencias tecnológicas y sociales son imprevisibles. Se ha conseguido superconductividad a temperatura cercanas al cero centígrado, pero esa propiedad no es estable en los compuestos encontrados. Debemos esperar novedades importantes en este campo en el futuro inmediato.

Física de plasmas

La física de plasmas estudia los movimientos de partículas cargadas bajo los efectos de campos electromagnéticos propios y externos. Uno de los principales atractivos de esta física es que con su dominio se espera llegar al reactor de fusión, a través del confinamiento. Los plasmas se encuentran también en la alta atmósfera que rodea a

la tierra (anillos de Van Allen) y su estudio es muy importante en el campo de las comunicaciones. También es importante el estudio de los plasmas que se producen en las descargas eléctricas. De ellos se derivan importantes aplicaciones.

La primera conferencia internacional sobre física de plasmas y fusión controlada tuvo lugar en Ginebra en 1958, iniciándose desde entonces una intensa colaboración internacional sobre el tema. La emergencia de los *tokamaks* en los fines de la década del 60 los hizo considerar como fuertes candidatos para un reactor de fusión y contribuyeron al crecimiento de los programas de fusión. Los programas en esta área en EUA, Europa y la ex URSS implican billones de dólares anuales. Estas botellas magnéticas han acumulado gran cantidad de datos experimentales y fenómenos nuevos, cuyo análisis requiere el uso de modelos numéricos que demandaron el uso de computadores ultrarápidos al límite de su capacidad.

Desgraciadamente, en este campo están involucradas también motivaciones militares. Si se consigue confinar plasmas será posible fabricar bombas materia-antimateria de mayor potencia que las convencionales, sin pasar por la potencia nuclear. Este hecho, en el presente estado de confrontación del mundo a través de guerras pequeñas, tiene el mayor significado estratégico-militar.

La física latinoamericana

En América Latina la física comenzó a desarrollarse con apoyo oficial masivo sólo después de 1945. Antes de esto hubo esfuerzos aislados de instituciones, como el caso de Argentina, en 1908, con la fundación del Instituto de Física de la Plata por un alumno de Nernst, el Dr. Emilio Bosc, o en Brasil cuando el Prof. Gleb Wataghin fue contratado en 1934 para realizar tareas de investigación en física en la Universidad de

Sao Paulo. El apoyo gubernamental masivo vino después de 1945 con la creación de Consejos Nacionales de Energía Atómica. Es claro que la década del cincuenta estuvo dominada fundamentalmente por el estudio de la física nuclear. Parecía en ese entonces que la energía nuclear era la panacea universal y cualquier tipo de física que no fuera nuclear parecía de segunda categoría.

En ese entonces se estimuló enormemente el desarrollo de la física cuántica y de la física nuclear de bajas energías, tanto teórica como experimental. Se crearon laboratorios que fueron los primeros centros avanzados de formación de físicos experimentales y técnicos calificados. En muchas universidades se dieron también esfuerzos ponderables en otros campos, como la espectroscopía molecular, la mecánica estadística y la física del estado sólido. Pero se subestimó el desarrollo de físicas clásicas macroscópicas como la mecánica de los fluidos y la óptica. Se puede decir que la gran mayoría de los físicos de América Latina trabajaba en física nuclear, altas y bajas energías; los físicos teóricos trabajaban en modelos nucleares o diagramas de Feynman. Muy pocos trabajaban en mecánica estadística o en física de sólidos. En esas condiciones comenzó a funcionar la Escuela Latinoamericana de Física (ELAF), que representó el primer esfuerzo programado de colaboración en la región. Sus cursos fueron y son un nexo entre los intereses presentes y los futuros. En sus programas se incluyeron temas que surgían en el ámbito internacional y que se consideraba interesante desarrollar en América Latina.

Al principio hubo gran peso de la ciencias nucleares. Esto no quiere decir que no hubiera ya en esa época grupos importantes trabajando en física experimental de sólidos, mecánica estadística y óptica geométrica. Sí los hubo, pero eran grupos aislados que no llegaron a representar una política científica. En esos años, del 40 al 60, se trabajó en teoría y en experimen-

ción. No pueden dejar de señalarse las contribuciones en el campo de los rayos cósmicos (experimentales) o, en la década del 20, trabajos importantes sobre la dependencia del dia-magnetismo con la temperatura, los métodos ópticos en astronomía, el efecto termoelectrónico, el descubrimiento del mesón π , contribuciones a la teoría cuántica de campos, etc.

A los años 60 comenzó en desarrollo masivo, y en gran parte programado, de la física de sólidos. Se enviaron grupos de jóvenes físicos a hacer doctorados en las mejores universidades europeas y norteamericanas. Al su regreso constituyeron los focos iniciales de grupos de investigación con amplio apoyo oficial, en particular de los Consejos Nacionales de Investigación Científica creados en todo el continente en las últimas décadas.

No hubo, desgraciadamente, un estímulo semejante para la mecánica de fluidos o para la geofísica o biofísica. No lo hubo en general para las interdisciplinas. Vemos que en la última década la física de partículas comienza a perder su cetro. Inclusive se dio el caso de universidades que decidieron no aceptar físicos de partículas o de teoría de campos. Sin embargo, el gran impacto que los métodos de teoría de campos tuvieron después en la teoría de los fenómenos críticos y en el magnetismo llevó a los institutos más avanzados a revisar esa política de proscripción de campistas.

En la década del 70 comenzó también la emigración en gran escala de físicos del escio. Se advirtió la enorme importancia económica, educativa y política de toda la física relacionada con satélites. Se generó así un fuerte apoyo oficial no sólo por parte de los consejos de investigación, sino en la creación de proyectos específicos relacionados con el uso de satélites.

En la década del 90 será necesario encontrar un equilibrio razonable entre la investigación básica y la aplicada. Si bien es cierto que América Latina no ha alcanza-

do todavía un desarrollo satisfactorio de las ciencias básicas y que sin ello no puede haber un desarrollo pleno de las ciencias aplicadas, también es cierto que debe guardarse una proporción adecuada en los esfuerzos que apuntan en una y en otra dirección. No es razonable tener cientos de físicos trabajando en problemas de cosmología, gravitación y teoría cuántica de campos y no contar con cinco físicos oceanógrafos o especialistas en predicción del tiempo. Ello representa una distorsión que si nosotros no tratamos de corregirla desde el ámbito científico, se hará (y en la forma menos agradable y eficiente) desde afuera.

Perspectivas

Nos preguntamos hoy qué es lo que tenemos en América Latina y qué debemos hacer en un futuro inmediato. Tenemos pocos pero muy buenos laboratorios de física nuclear de bajas energías que sirven de excelentes escuelas de físicos experimentales y técnicos de todo tipo, muchos de los cuales -tal vez la mayoría- se dedica a otros temas cuando pasan a la industria o su labor es interdisciplinaria. Esos laboratorios representan en estos momentos un capital humano precioso que debe ser intensamente aprovechado en la formación de investigadores jóvenes. Hay laboratorios espaciales con físicos de muy buena formación, con equipos muy buenos y en número creciente. Todos estos laboratorios deberán ser aprovechados al máximo con un espíritu cooperativo entre todos los países de la región, ya que ellos implican inversiones del orden de los cientos de millones de dólares que no deben superponerse. Colocar un satélite en el espacio requiere más de cien millones de dólares, lo que muestra la absoluta necesidad de un esfuerzo conjunto.

La física ha catalizado la formación de grupos de especialistas en computación de alta calidad y eso será cada día más importante en el desarrollo de la informática, la robótica y la inteligencia artificial, temas

que deberán tener un desarrollo intenso en los próximos años si no queremos mantenernos en estado subordinado respecto a los países del primer mundo.

En partículas y campos existe ya tradición en América Latina y hay grupos que trabajan en un primer plano internacional en condiciones de autonomía y madurez para orientar jóvenes a un doctorado de nivel europeo o americano. Esta situación también se extiende a los grupos ya citados de física espacial, nuclear, magnetismo, mecánica estadística y materia condensada. Esta es una circunstancia que se debe tener en cuenta. Dada la devaluación del dólar respecto a las monedas europeas y de las nuestras respecto al dólar, resulta cada vez más prohibitivo enviar a jóvenes a hacer el doctorado en Europa y cada vez más caro hacerlo en EUA. Es imperativo en este momento histórico usar al máximo nuestras propias capacidades de crear doctores y de ese modo fortalecer y consolidar nuestros propios grupos de investigación.

Eso contribuirá -no poco- a evitar la fuga de cerebros de la región ya que el estudiante queda en general muy ligado a la institución que lo doctoró. Creo que esto es una de las medidas de política científica más importante que deberá, a mi juicio, ser tomada por los consejos de investigación en un futuro inmediato.

Hay otro tipo de actividad que creo que debe ser impulsado agresivamente y es lo que actualmente intento hacer como director del Centro Latinoamericano de Física. Hay fenómenos naturales de enorme importancia económica para el área, como el ciclón. Este fenómeno meteorológico es el principal determinante de las inundaciones desde California a Tierra del Fuego y Recife. El problema tiene también un gran interés científico y académico en el campo de la mecánica de fluidos. Asimismo, la mecánica de los fluidos de medios porosos tiene gran importancia en la recuperación secundaria de pozos petrolíferos. En este

campo también la física de superficies tiene mucha aplicación. Debemos estimular la colaboración entre los países que directamente se beneficiarán de estos estudios. Lo mismo puede decirse de la física del suelo, cuya importancia es cada día más visible.

La biofísica ha tenido bastante desarrollo en los últimos años, pero no lo suficiente. Y ello es cierto tanto en el plano puramente académico como en el de las aplicaciones. La física médica es sin duda un campo de gran aplicación, inclusive profesional. El accidente nuclear de Goiania, segundo en importancia después del de Chernobyl, muestra la urgente necesidad de contar con un equipo numeroso de físicos-médicos de alta competencia que asesoren a los gobiernos y a las instituciones públicas y privadas en el manejo y control de instrumentos con radioactividad a fin de evitar la repetición de accidentes análogos.

Merece destacarse la presencia de laboratorios de bajas temperaturas, así como de cristalografía. Los primeros fueron el lugar donde los físicos se familiarizaron con las ideas corrientes de superconductividad. Los segundos fueron consecuencia del desarrollo de los estudios de metalurgia y de biología molecular. Con el descubrimiento de la superconductividad a altas temperaturas, estos laboratorios estuvieron en condiciones de acompañar desde muy cerca los primeros desarrollos, repetirlos con pocos días de atraso y de publicar trabajos en las mejores revistas. Esta es una circunstancia excepcional en la historia de la tecnología. Aparece una nueva tecnología que puede afectar enormemente la vida de la sociedad humana y el tercer mundo está en condiciones de entrar como productor y generador de tecnología. Aquí es imperativa la colaboración estrecha de todos los institutos latinoamericanos, así como de los entes gubernamentales encargados de generación y distribución de energía.

La situación es muy diferente de lo que fue en su momento el surgimiento de la

energía atómica. El tercer mundo estaba excluido de antemano de esa tecnología. No tenía nivel académico, capital humano ni financiero para un emprendimiento de tanta magnitud. Si ahora sumamos nuestras posibilidades podemos entrar en la carrera, modesta pero de manera competitiva.

Quiero referirme al problema de educación sobre el cual hay grupos muy activos y creo que no exagero diciendo que se está influyendo mucho en el nivel de enseñanza secundaria y contribuyendo sensiblemente a mejorarla. En las universidades debemos perfeccionar las técnicas para enseñar con alto vigor grandes masas de estudiantes, ya que ello influirá no sólo en los estudiantes de física, sino también de biología, ingeniería y química.

¿Qué podemos decir del número de físicos en América Latina? Actualmente hay algo así como dos o tres mil físicos con artículos publicados en revistas de prestigio internacional. Es un número muy pequeño para todo lo que hay que hacer en los próximos años. Pensando de manera realista, este número podría multiplicarse por tres o por cuatro hacia fines de siglo, un número todavía pequeño si pensamos que la ciencia va a desempeñar un papel cada vez más importante en la sociedad humana. Teniendo en mente los programas nacionales de planeación, creo que es realista pensar en 10.000 doctores científicamente activos para fines de siglo. Diez mil físicos que están en sueldos unos cien millones de dólares al año. Si incluimos el gasto en infraestructura y equipo, debemos luchar para conseguir aproximadamente mil millones de dólares por año para la física en toda Latinoamérica. Pero debemos ser más ambiciosos en cuanto al número y a la calidad de los científicos que debemos formar. Las universidades serán los instrumentos esenciales de cualquier política de transformación seria en América Latina. Sin ciencia no hay progreso verdadero. Sólo hay pseudo progreso. Sin duda, los presupuestos para la ciencia deberán ser comparables a

los presupuestos militares. Las universidades deben ser las instituciones de transformación de la sociedad latinoamericana.

Se debe preservar para que en los grandes proyectos energéticos nacionales -sean hidroeléctricos, termoeléctricos, nucleares, o de energía solar- se incluya un porcentaje del mismo dedicado a investigaciones básicas en área afines. Es necesario desarrollar una política que asegure empleo y un presupuesto mínimo de los laboratorios para que los investigadores permanezcan en América Latina, y es necesario crear en ellos un alto grado de responsabilidad social.

Otro aspecto importante a decidir en el futuro inmediato en el campo de la física es una política de publicaciones. Llegó la hora de tener una revista latinoamericana de física de alto nivel y de circulación en el hemisferio norte. Un estudio preliminar implica que hay demanda para una revista de comunicaciones rápidas (letters). Pero esa es una responsabilidad conjunta que deben asumir los físicos de América Latina.

En resumen, tenemos un desafío por delante, que requiere agresividad, inteligencia y mucho trabajo. Tengo confianza que las probabilidades de éxito sean altas.