

CBPF-CS-008/88

PERSPECTIVAS ACTUALES DE LA FÍSICA Y SU
PROYECCIÓN EN AMÉRICA LATINA*

por

J.J. GIAMBIAGI

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

* Conferencia pronunciada el día 12 de abril con motivo de la celebración del LXX aniversario de la Academia de Ciencias Exactas y Naturales de Venezuela, en la ciudad de Caracas (abril 1988).

Voy a comenzar esta conferencia refiriéndome a los avances más importantes realizados en los últimos años en Física, en distintos campos. Me referiré luego al estado de la investigación en física en estos campos en America Latina, para discutir luego su proyección hacia el futuro.

Fuó siempre una característica de los grandes físicos la tendencia a entender la naturaleza en función del menor número de ideas y conceptos posibles. Es decir, hubo siempre la tendencia a unificar experimentos aparentemente desconectados unos de otros en 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 las magnéticas. Einstein unificó geométricamente los conceptos de espacio y de tiempo. La idea que dominó años de la vida de Einstein fuó tratar de unificar los campos electromagnéticos con el gravitatorio en una sola teoría que los englobara como casos particulares.

Este fuó el sueño de Einstein, que todavía no se ha cumplido pero ha ejercido una influencia inspiradora muy proficua en los últimos años, generando ideas, experiencias y resultados.

Esta misma tendencia de unificación es la que presiona hoy para simplificar la discusión de todos los campos de fuerzas que actúan entre las partículas conocidas hasta el día de hoy. Ellas son las siguientes:

- 1) Fuerza gravitatoria que actúa entre los planetas y el Sol y entre todas las partículas conocidas. Es la más pequeña.

- 2) Fuerza electromagnética que actúa entre las partículas cargadas p.ej.: el protón y el electrón. Ella es responsable de la existencia de los átomos y fundamentalmente por los fenómenos de la vida.
- 3) Las fuerzas débiles que actúan entre todas las partículas p.ej. protón, neutrón, electrón, neutrino, son de muy corto alcance (10^{-16} cm).
- 4) El protón y neutrón tienen carga nuclear fuerte (además de la débil) y que actúa a distancias un poco mayores que la débiles (10^{-13} cm). Esta fuerza es la responsable por mantener ligados los protones y neutrones dentro de los núcleos de los átomos.

El ideal de los físicos es conseguir mostrar que estas cuatro fuerzas son diferentes caras de una sola fuerza, de la misma forma como en el electromagnetismo, la fuerza magnética y la eléctrica son sus diferentes caras.

Schroedinger y Heisenberg también estuvieron dentro de esta filosofía cuando mostraron que las fuerzas químicas (así llamadas valencia) eran otra manifestación del electromagnetismo a la luz de la mecánica cuántica.

En la ambición de Einstein faltaban en el esquema dos fuerzas que no eran conocidas en el primer tercio del siglo. Eran las fuerzas nucleares fuertes y las débiles. Es decir , a Einstein le faltaba información experimental que solo llegó después, y los éxitos parciales de esta filosofía vinieron de la unificación del electromagnetismo con las fuerzas débiles.

Eso Einstein no lo podía prever. El éxito de Salam-Weinberg estuvo en tentar una teoría unificada del electromagnetismo con la fuerza nuclear débil. Ellos mostraron que estas fuerzas son dos caras diferentes de una misma fuerza. Como consecuencia de esta unificación se previó la existencia de dos partículas, una cargada y otra neutra, unas cien veces más pesadas que el protón. Estas partículas W^- , W^+ y Z^0 fueron experimentalmente encontradas.

Un esquema juntando las fuerzas nucleares fuertes a las dos anteriores, llamado "Standard model" está funcionando muy satisfactoriamente en la explicación de las reacciones nucleares observadas entre partículas elementales.

La fuerza gravitatoria queda 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: Este intento de incorporar a la gravitación en un esquema unificado está llevando 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. Ellas involucran toda la matemática conocida (y algo más también). En particular cuando esta línea es una línea cerrada, la teoría parece también incluir al campo, gravitatorio. El problema de estas teorías llamadas de "Super String" es que todavía están muy desvinculadas con las observaciones experimentales y no se sabe bien cuantos años habrá que esperar para que se produzca esa vinculación. Ciertamente, no menos de veinte o treinta años.

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. Cuatro parece ser una dimensión asociada al electromagnetismo, pero a distancias más 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.

Pasemos ahora a considerar otro aspecto de la física. La así llamada física de la materia condensada. Ella investiga aquellos estados de la materia en que los átomos están muy próximos entre sí e interactúan simultáneamente con muchos vecinos. Es una área de investigación básica que busca dar una explicación detallada de propiedades y fenómenos en que intervienen muchos cuerpos. Ejemplos particularmente interesantes son las propiedades eléctricas, ópticas, magnéticas, mecánicas y térmicas. También la física nuclear de los núcleos 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 de 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 ha extendido al estudio de materiales amorfos, polímeros orgánicos, líquidos, etc...

En los últimos años ha habido importantes descubrimientos que llevaron a sendos premios Nobel como el efecto Hall cuántico, los superconductores a Alta Temperatura, la teoría de los fenómenos críticos y el microscopio de tunelamiento.

La interpretación de los nuevos fenómenos requiere cada

vez mas el uso de técnicas originadas en la teoría cuántica, de campos lo que ha inducido a muchos físicos de teoría de campos a entrar en el campo de materia condensada (estudios de magnetismo, en particular) y viceversa.

Aquí también al unificarse los métodos y las ecuaciones, se unifican también las ideas. Mismo en un resumen a vuelo de pájaro no pueden dejar de mencionarse la introducción de ideas topológicas en física. Ellas desempeñan un papel de gran importancia en las ecuaciones no-lineales, clasifican los espacios funcionales de las ecuaciones no-lineales y están llamadas 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.

La óptica no-lineal es una disciplina en pleno desarrollo, muy bonita conceptualmente con muchas aplicaciones tecnológicas.

Hay una impresión bastante generalizada de que la fotónica sustituirá a la electrónica, no solo en las comunicaciones como está ocurriendo actualmente 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.

A este capítulo pertenece también la llamada ciencia de los materiales, cuyo desarrollo va a tener un gran impacto en el comercio internacional, aumentando la demanda de algunas mate-

rias primas y disminuyendo la de otras (Cu, por ejemplo).

Actualmente se están desarrollando aleaciones especiales que aguantan temperaturas más altas como material de los motores de los jets.

Al aumentar la temperatura aumenta la eficiencia del ciclo termodinámico y aumenta la velocidad, lo que influye en la naturaleza del material de construcción del avión.

En el último año ha causado verdadera conmoción el descubrimiento de los Superconductores de alta temperatura. Hasta 1986 solo se conocían superconductores a temperaturas muy próximas al cero absoluto, a las cuales solo se llega por liquefacción de He (4°K). Como el He 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 este año se encontró que ciertas aleaciones de bario y cobre son superconductoras a temperaturas del orden de la liquefacción del nitrógeno líquido (80°K) y ya 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 es 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 centigrado, pero esa propiedad no es estable en los compuestos encontrados. Debemos esperar novedades importantes en este campo en el futuro inmediato.

Física de Plasmas Es la que estudia los movimientos de partículas cargadas y bajo los efectos de campo 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 (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 1^a Conferencia Internacional sobre Física de Plasmas y fusión controlada tuvo lugar en Ginebra en 1958 iniciándose 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 fue un factor enorme de crecimiento en los programas de fusión. Los programas en ésta area en EEUU, Europa y la Unión Soviética implican billones de dólares anuales.

Fueron acumulados gran cantidad de datos experimentales y fenómenos nuevos, cuyo análisis requirió el uso de modelos numéricos que demandaron el uso de computadores ultrarápidos exigiendo de ellos el límite de su capacidad.

Desgraciadamente, hay también motivaciones militares. Si se consigue confinar plasmas será posible fabricar bombas materia - antimateria de mayor potencia que las convencionales sin llegar a la potencia nuclear. Este hecho, en el presente estado

de confrontación del mundo particularmente a través de guerras pequeñas, tiene el mayor significado estratégico-militar.

En America Latina (A.L.) la física comenzó a desarrollarse con apoyo oficial masivo solo después de 1945. Antes hubo esfuerzos aislados de instituciones, caso de La Plata (R.A.) en 1908 cuando fué fundado el Instituto de Física por un alumno de Nernst, el Dr. Emilio Bose o en São Paulo cuando el Prof. Gleb Wataghín fué contratado en 1934 para realizar tareas de Investigación en física en la Universidad. Pero el apoyo gubernamental masivo solo vino después de 1945 con las creaciones de Consejos Nacionales de Investigación y de las Comisiones 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 2^a categoría.

Se estimuló enormemente el desarrollo de la física cuántica y de la física nuclear de bajas energías, tanto teórica como experimental creándose laboratorios que fueron los primeros centros avanzados de formación de físicos experimentales y técnicos calificados.

Hubo también en muchas Universidades, esfuerzos ponderables en otros campos, como la espectroscopía molecular, la mecánica estadística y la física del Estado Sólido. Pero se subestimó enormemente 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 teóricos trabajando en modelos nucleares o diagramas de Feynman. Muy pocos trabajaban en mecánica Estadística o en física de Sólidos. Fué en esas condiciones que 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 fueron incluyendo los 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 de Sólidos Experimental, 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 Experimentación. 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 termodieléctrico, el descubrimiento del meson π , contribuciones a teoría cuántica de campos, etc.

En la década del 60 comenzó un desarrollo masivo, y en gran parte programado, de la Física del Sólido. Se enviaron cantidades de jóvenes físicos a hacer doctorados en las mejores universidades europeas y americanas, los que, a su regreso, fueron foco inicial 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 interciencias. Vemos que en la última década la física de partículas comienza a perder su "Cetro".

Inclusive se dió 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 años 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 setenta comenzó también la generación en gran escala de físicos del espacio. Se advirtió la enorme importancia económica, educacional y política de toda la física relacionada con satélites. Se generó así un fuerte apoyo oficial no solo 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 alcanzado todavía un desarrollo satisfactorio de las ciencias básicas y que sin ello no puede haber un desarrollo satisfactorio 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 dentro del ámbito científico ella lo va a ser (y en forma menos agradable y eficiente) desde afuera.

Nos preguntamos: en el día de hoy, que es lo que tenemos en América Latina y que debemos hacer en un futuro inmediato?

Tenemos algunos 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 dedicará a otros temas pasando a la industria o a interdisciplinas. Esos laboratorios representan en estos momentos un capital humano precioso que debe ser intensamente aprovechado en la formación de 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 dólares, lo que muestra la absoluta necesidad de un esfuerzo cooperativo.

La física ha catalizado la formación de grupos especialistas en computación de alta calidad y eso será cada día más importante en el desarrollo de la información, 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, materia condensada, etc. Esta es una circunstancia que se debe tener muy en cuenta. Dada la devaluación del dolar 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 EE.UU. Es imperativo - en este momento histórico usar al máximo nuestras propias capacidades de crear doctores y de ese modo fortalecer y prestigiar 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 la región como por ejemplo el ciclón "EL NIÑO" principal determinante de las inundaciones desde California a Tierra del Fuego y Recife. El probleme

ma tiene también un gran interés científico y académico en el campo de mecánica de fluidos. También la mecánica de los fluidos de medios porosos tiene gran importancia en 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 solo al 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 de modo a 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 desarrollos y repetirlos con pocos días de atraso, y de publicar trabajos en las mejores revistas del tema.

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 fué en su momento, el surgimiento de la energía atómica. El tercer mundo estaba excluido a priori de esa tecnología. No tenía nivel, capital humano ni financiero para un emprendimiento de tanta magnitud. Si ahora sumamos nuestras posibilidades podemos entrar en la carrera modesta pero competitivamente.

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

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 realísticamente este número podría multiplicarse por tres o por cuatro hacia fines de siglo lo que sigue siendo un número pequeño si pensamos que la ciencia va a desempeñar un rol cada vez más importante en la sociedad humana. Creo que es realista pensar en 10.000 doctores científicamente activos para fines de siglo y con esa base programar. Diez mil físicos cuestan en sueldos unos cien millones de dólares al año. Sólo en sueldos. O sea debemos luchar para conseguir aproximadamente mil millones de dólares por año para física en toda latinoamerica. Pero debemos tener más ambición, 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 en serio. Solo 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.

Debemos perseverar para que en los grandes proyectos energéticos nacionales sean hidroeléctricos, termoeléctricos, nucleares, solares, etc. se incluya un porcentaje del mismo dedicado a pesquisas básicas en áreas afines.

Es necesario desarrollar una política que asegure empleo y un presupuesto mínimo de laboratorio para que los investigadores queden en América Latina y es necesario crear en los mismos un alto grado de responsabilidad social.

Otro aspecto importante a decidir en el futuro inmedia-

to 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 indica que hay demanda para una revista tipo "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, pero las probabilidades de éxito son altas.