

2019

# Preprint N°491

Historia de la física en Cuba (siglo XX)

María Sánchez Colina, Angelo Baracca, Carlos Cabal Mirabal,  
Arbelio Pentón Madrigal, Jürgen Renn, Helge Wendt (eds.)



# **Historia de la física en Cuba (siglo XX)**

María Sánchez Colina, Angelo Baracca, Carlos Cabal Mirabal,  
Arbelio Pentón Madrigal, Jürgen Renn, Helge Wendt (eds.)



## Tabla de contenidos

<i>01 La matemática y la física en Cuba, entre 1902 y 1958.....</i>	<i>3</i>
José Altshuler	
<i>02 El desarrollo de la Física en Cuba desde 1959: un enfoque abarcador .....</i>	<i>11</i>
Angelo Baracca Víctor Fajer Carlos Rodríguez	
<i>03 La Física en la Universidad de Oriente.....</i>	<i>135</i>
Luis M. Méndez Pérez Carlos A. Cabal Mirabal	
<i>04 Aproximación a la historia de la preparación de profesores de Física en Cuba.....</i>	<i>157</i>
Diego de Jesús Alamino Ortega	
<i>05 Una entrevista con el Profesor Melquiades de Dios Leyva, Diciembre 2008.....</i>	<i>167</i>
Olimpia Arias de Fuentes	
<i>06 La física experimental en semiconductores: la voluntad de contribuir al desarrollo económico del país.....</i>	<i>173</i>
Elena Vigil Santos	
<i>07 Primeros experimentos científicos cubanos en el Cosmos.....</i>	<i>181</i>
José Altshuler, Octavio Calzadilla Amaya, Federico Falcón, Juan E. Fuentes, Jorge Lodos y Elena Vigil Santos	
<i>08 Sobre los sistemas complejos en Cuba.....</i>	<i>189</i>
Oscar Sotolongo Costa	
<i>09 Proyecto 35-26-7 de Resonancia Magnética: Un caso cubano de Ingeniería Física y la Biofísica .....</i>	<i>197</i>
Carlos Cabal Mirabal	
<i>10 Nanotecnologías en Cuba .....</i>	<i>207</i>
Carlos Rodríguez	
<i>11 La formación en Física en la Universidad de La Habana .....</i>	<i>219</i>
Osvaldo de Melo Pereir, María Sánchez Colina	
<i>12 Física y Mujer: un desafío afrontado con éxitos en Cuba.....</i>	<i>231</i>
Olimpia Arias de Fuentes	
<i>13 La cooperación entre la Academia de la Ciencia de Berlín (DAW) y la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) (entre 1960 y 1975) .....</i>	<i>245</i>
Helge Wendt	
<i>14 La Física cubana contemporánea a través de las publicaciones científicas: una mirada desde adentro.....</i>	<i>255</i>
Ernesto Altshuler Álvarez	



# 01 La matemática y la física en Cuba, entre 1902 y 1958<sup>1</sup>

**José Altshuler**

A propósito del quincuagésimo aniversario del 20 de mayo de 1902, fecha en que se inauguró formalmente la República, el infatigable Emilio Roig de Leuchsenring se propuso publicar un volumen conmemorativo, integrado por estudios especiales donde se reflejaran los progresos realizados en Cuba durante el medio siglo precedente, en lo que tocaba a diversos aspectos de la vida colectiva del país. El volumen, titulado Facetas de la vida de Cuba republicana, 1902–1952, se publicó en 1954. Había demorado en ver la luz –según explicaba Roig, un tanto crípticamente– “por causas ajenas a nuestra voluntad y a la de los escritores cubanos a quienes encargamos algunos de dichos estudios”. Por supuesto que las causas aludidas no eran otras que lo revuelto de la situación política que vivía el país desde el golpe de estado batistiano de marzo de 1952.

Sin lugar a dudas, el pormenorizado estudio del profesor Luis Felipe Le Roy que se incluye en el volumen antes aludido bajo el título de “Las ciencias”, constituye una referencia obligada para todo aquél que se proponga discurrir sobre el desarrollo de las actividades científicas en el país durante la etapa republicana. Señala Le Roy que de su exposición se desprende inmediatamente que “a principios [del siglo XX] la producción [científica] era nula o casi nula, a consecuencia, indudablemente, del estado de estancamiento político–social que Cuba había dejado atrás al cesar como colonia de España, pero que necesariamente perduraba y habría aún de influir por algún tiempo en el desarrollo cultural y científico de su pueblo.”

Aunque nada tengo que objetar a esta idea, entiendo que debe añadirse otro factor negativo para el desarrollo científico del país que, en mi opinión, trascendió los primeros decenios republicanos, al menos hasta la llegada al poder de la Revolución, en 1959. Me refiero a la situación que prevaleció en aquel período y que de mil maneras fomentó en el seno de nuestra sociedad de entonces la meta del “triunfo en la vida” en su sentido peor. En fin de cuentas, éste solía reducirse a la búsqueda obsesiva de la prosperidad personal a costa de valores más elevados y más útiles para el país.

---

<sup>1</sup> Versión de la ponencia presentada por el autor en el panel titulado “Pensamiento científico, social y filosófico en la República”, que se efectuó el 21 de marzo de 2002 en el anfiteatro “Manuel Sanguily” de la Universidad de La Habana.

Así, por ejemplo, es un hecho que abundaban los integrantes del claustro universitario que se mantenían en el cargo no por vocación ni voluntad de servicio, sino para utilizarlo a modo de una suerte de tarjeta de presentación que les facilitaba su intervención en el mundo de los negocios o en el de la política nacional, concebida también como un negocio lucrativo. Ni que decir tiene que semejante mentalidad era incompatible con la dedicación ahincada que caracteriza al investigador que de veras lo es. Por supuesto, hubo excepciones a la regla – sobre todo en el campo de las ciencias sociales y las humanidades–, que si bien es justo recordar con el respeto a que son acreedoras, ciertamente no marcaban la tónica de aquel tiempo, ni mucho menos.

En vista de lo dicho y de lo que añadiré después, nada tiene de extraño que discrepe de la conclusión de Le Roy de que “Al cumplirse el cincuentenario de Cuba independiente, las ciencias en nuestro país se [encontraban] en el mismo estado de desarrollo que en el de muchas de las naciones de civilización más antigua del continente europeo...”

Es cierto que se había alcanzado un nivel estimable en varios aspectos curriculares, gracias, fundamentalmente, a los esfuerzos de un grupo de valiosos educadores cubanos, algunas de cuyas obras de texto alcanzaron un alto grado de excelencia. A ello me referiré más adelante, y con no poca satisfacción. Pero no es menos cierto que durante la República que se ha apellidado Neocolonial o Mediatizada, en lo que se refiere a las ciencias físico-técnicas y matemáticas fue apenas una rareza la práctica consecuente de la investigación científica, ingrediente esencial de toda ciencia que merezca tal nombre.

Probablemente les cueste algún esfuerzo concebir semejante estado de cosas a los actuales alumnos de nuestra enseñanza superior y aun a sus profesores más jóvenes, sujetos hoy, como la cosa más normal del mundo, al requisito de obtener resultados novedosos asociados al trabajo de diploma exigido para la graduación de los estudiantes de las distintas carreras. Se nos dirá que antes de la Reforma Universitaria de los años sesenta, para obtener el título universitario se requería que el graduando presentara una tesis de grado original, defendida ante tribunal competente. Pero en la práctica, aquello no pasaba de ser una formalidad, puesto que las tesis de grado que contenían resultados científicos originales eran contadas excepciones y en modo alguno la regla. Esto formaba parte de la realidad académica de entonces.

Que yo recuerde, quizás se cuente entre lo más próximo a un trabajo científico independiente de los alumnos, el requisito que se estableció en la vieja Facultad de Ciencias, de realizar, en

el cuarto y último año de la carrera de Ciencias Físico–matemáticas, unas “prácticas de grado” destinadas a familiarizar al estudiante con algunas manipulaciones experimentales de cierta complejidad. Supongo que el contacto con la práctica haya sido mejor en las carreras de Ciencias Naturales y Ciencias Físico–químicas, por su naturaleza misma, vinculada estrechamente al trabajo de campo la primera y al laboratorio la segunda.

Permítanme ustedes ilustrar mi punto de vista aludiendo a una situación que conozco muy bien, puesto que se trata de algo en que me vi involucrado directamente cuando regresé a Cuba, a fines de 1955, luego de cumplir un año de estudios en el extranjero como becario de la Universidad de La Habana. Volví estimulado por el hecho de que uno de mis primeros resultados científicos, aunque muy modesto, había sido aceptado para publicación en una revista británica de excelencia en el campo de la electrónica y las telecomunicaciones.

La fecha del caso sugiere que habría bastante que decir sobre el explosivo panorama político prevaleciente a mi llegada a la Cuba de entonces. Eso es muy cierto y sin duda sería obligado referirse a la cuestión en otro contexto, pero lo que me interesa singularizar aquí es que en aquellos años cincuenta no encontré en nuestro país ninguna revista científica o técnica donde pudiera publicar con la debida fluidez, los resultados de las investigaciones que me proponía continuar realizando, bien que en solitario y contra viento y marea. Por ello me animé a proponerle a la directiva del Colegio de Ingenieros Electricistas hacerme cargo de publicar la que había de ser su órgano oficial, la revista Ingeniería Eléctrica. Aprobada la propuesta, me di a la tarea de tratar de incluir sistemáticamente en la publicación trabajos científicos originales vinculados con la especialidad, junto a noticias relativas a las actividades colegiales y artículos de interés general o profesional. El resultado fue que si bien se logró mantener viva la publicación durante algo más de tres años, la empresa de conseguir manuscritos que contuvieran resultados originales de investigación o desarrollo resultó aún más difícil de lo que había imaginado. Ante la virtual inexistencia de material adecuado, se hizo necesario completar los distintos números con refritos diversos y acudir a algún que otro autor fuera del gremio, para conferirle entidad a la revista. Para mí está claro que algo semejante debió de repetirse en otra de las pocas publicaciones científicas cubanas de la época: la Revista de la Sociedad Cubana de Ciencias Físicas y Matemáticas. Así lo sugiere la declaración explícita que se hace en el reverso de la cubierta, de que la revista “no tiene carácter periódico”, unida a la escasez de resultados originales publicados en cada uno de sus números. Imagino que una motivación no muy diferente de la mía con Ingeniería Eléctrica, fue la que impulsó al

destacado profesor de matemática de la Facultad de Ciencias, Mario O. González, a echarse encima durante años, la pesada carga de publicar la Revista de la Sociedad Cubana de Ciencias Físicas y Matemáticas. Con todo, hay que decir que en sus páginas se recogió lo mejor de lo poco que entonces se hacía en Cuba en cuanto a investigación científica en el campo de las ciencias matemáticas y físicas, estas últimas exclusivamente en su aspecto teórico.

Típicamente, durante la etapa republicana anterior a 1959, la escasa producción científica del país en aquellas disciplinas procedía exclusivamente de la actividad individual de alguna personalidad solitaria. Mencionaré dos casos que ejemplifican cabalmente lo dicho. Uno de ellos es el del ingeniero de montes y minas José Isaac Corral, funcionario de la Secretaría de Agricultura, que, desde el decenio de 1930 hasta su fallecimiento en 1946, publicó en nuestro país varios trabajos sobre temas de física y matemática. El otro caso es el del doctor Carlos Masó, que aun habiendo realizado estudios avanzados de astronomía en Francia y participado dignamente en un concurso–oposición universitaria, al no resultar ganador en él sólo pudo conseguir una plaza de profesor en la Escuela Normal de Pinar del Río. En esa ciudad creó por su cuenta un seminario donde, en el decenio de 1940, exponía temas de matemática superior ante una escasa audiencia, a menudo compuesta solamente por una o dos personas.

Pero los desarrollos de más trascendencia relativa en el campo de la física y la matemática del período que nos ocupa tuvieron lugar en la Universidad de La Habana, también en torno a unas pocas personalidades del profesorado universitario. Así lo atestigua el hecho mismo de que la enseñanza de aquellas disciplinas fue llevada por primera vez a un nivel que pudiéramos calificar de genuinamente universitario para la época, gracias, fundamentalmente, a la voluntad, la erudición y el talento de dos profesores de la Universidad de La Habana, que hoy recordamos como figuras casi míticas: Pablo Miquel y Manuel Gran.

En 1913, Miquel había pasado a ejercer la docencia de Análisis Matemático en sustitución del catedrático titular, un ingeniero graduado en los Estados Unidos que había participado en la Guerra de Independencia, pero que decidió dejar la cátedra para dedicarse por entero a la política republicana. Pues bien, ha de recordarse que el texto de álgebra superior que Miquel publicó en 1914, marcó un hito en la enseñanza de la disciplina en nuestro país y quizá también en Hispanoamérica, sobre todo a partir de su edición, considerablemente mejorada, de 1939. Añádase a esto que los dos tomos de cálculo diferencial e integral que publicó a comienzos del decenio de 1940 fueron excelentes obras de texto, comparables ventajosamente

con sus homólogas más difundidas a nivel internacional en su época. En cuanto a Manuel Gran, encuentro significativo el hecho de que, siendo un joven graduado en Ingeniería Civil, Arquitectura y Ciencias Físico–Matemáticas, al igual que Miquel, fuese promovido al profesorado en 1923 –el año del primer intento de Reforma Universitaria en nuestro país–, en respuesta al clamor de los alumnos de Física Superior, que se negaban a continuar asistiendo a las clases de un profesor manifiestamente incompetente. Persona de extracción humilde, que había alcanzado su prestigio y competencia por el propio esfuerzo, sin jamás haber tomado curso alguno en el extranjero, Gran tuvo que abocarse a la ingente tarea de crear –como lo hizo y él mismo expresó después– “un curso de Física Superior que mereciese este nombre”, organizar el laboratorio “para que llevase este fin de la mejor manera”, y elaborar “un curso de manipulaciones consonante”. Expositor culto y riguroso, Gran influyó notablemente sobre la enseñanza de la física de nivel universitario. Asimismo, influyó considerablemente en la enseñanza secundaria de la época, gracias a los dos gruesos volúmenes del texto de física general y experimental que publicó entre 1939 y 1940, el cual le confirió a la enseñanza de estas materias el rigor y la elegancia que se echaba de menos en otras obras del mismo género que se habían publicado en Cuba con anterioridad. Posteriormente, el texto de Gran sirvió de inevitable referencia para la elaboración de nuevos textos de física de bachillerato, escritos con el debido rigor, aunque con diferentes criterios pedagógicos, por los profesores Páez, Alonso y Acosta,

A riesgo de abusar de la benevolencia de ustedes, me detendré un momento aquí, a propósito de nuestra enseñanza secundaria en aquel tiempo, porque, pese a las insuficiencias de que adoleció, entiendo que hay bastante bueno que decir de ella, especialmente después de que, a comienzos del decenio de 1940, se reestructuró el plan de estudios del bachillerato y se añadió un quinto año final especializado bien en letras o en ciencias. Muy a favor de ese plan de estudios puede alegarse que todos los alumnos debían tomar dos cursos de física y uno de química, y que quienes se decidían por la especialidad de ciencias tenían que aprobar cursos adicionales en matemática, física, química y biología. Pienso que varias obras de texto que se publicaron entonces con vistas a cubrir las necesidades de los alumnos, alcanzaron un notable nivel de excelencia, como es el caso de los textos de matemática de Sócrates Rosell y Mario González, el de química de Ernesto Ledón, y los de psicología y geografía de Cuba de los profesores Velázquez y Marrero. Estimo que incluso algunos textos de bachillerato anteriores al nuevo plan, tales como el de álgebra de Baldor y el de química del padre Galán, son obras dignas de particular encomio, desde el punto de vista pedagógico. Por otra parte, es de

elemental justicia recordar el temprano esfuerzo del profesor Moleón, que en 1921 publicó el primer texto de química general para el bachillerato. Añadiré a lo que acabo de decir, que en aquella época fueron profesores de bachillerato, profesionales tan competentes como Páez, Alonso, Acosta, Melgarejo y Soto del Rey en física, así como Souto, Labra, Paz, Álvarez Ponte, Fiterre, Gutiérrez Novoa, Reguera, Davidson y otros en matemática. Algunos pasaron luego a desempeñar muy dignamente cargos docentes en la educación superior.

Hecha la digresión anterior, he de volver al tema del desarrollo de la matemática y la física en la Universidad de La Habana. La segunda se había enriquecido, desde mediados del decenio de 1930, con la inclusión de dos semestres de Física Teórica en el plan de estudios de la carrera de Ciencias Físico–Matemáticas. El primer profesor titular de la asignatura fue Enrique Badell, desde 1938 hasta su fallecimiento en 1947. Le sucedió en la cátedra Miguel A. Maseda, un excelente expositor, que se desenvolvía con igual eficacia en el laboratorio. Ambos profesores brillaron por el sólido dominio de la materia que explicaban.

A propósito del Dr. Badell hay que decir que a lo largo de toda su carrera se entregó sistemáticamente a reconstruir paso a paso los desarrollos matemáticos esbozados en los textos y resolver cuanto ejercicio o problema aparecía propuesto en los textos de física que estudiaba, con el resultado de que al cabo de los años había acumulado una impresionante colección de problemas resueltos detalladamente, a menudo por varias vías diferentes. Algo parecido ocurrió con el que fue dedicado y competente profesor de Teoría de la Electricidad, el ingeniero Luciano de Goicoechea. Recuerdo asimismo que el Dr. Gran llegó a acumular una colección muy completa de problemas de física resueltos por él, especialmente en el dominio de la óptica, mientras que una de las características de las obras de texto del Dr. Miquel fue, precisamente, la riqueza de los ejercicios y problemas incluidos, muchos de ellos originales. Supongo que esta laboriosa dedicación a la resolución de problemas fue lo más próximo a la investigación científica sistemática a que llegaron los mejores profesores de aquella generación. Como quiera que, rodeados de un ambiente indiferente cuando no hostil, por propia iniciativa se entregaron en cuerpo y alma a la tarea de conferirle estatura universitaria a la enseñanza de sus respectivas disciplinas, pienso que, por lo mismo, son dignos del más respetuoso recuerdo.

Fue aquélla una época en que la enseñanza de la física y la matemática se encaminó hacia fines casi exclusivamente didácticos. Época en que los profesores más dedicados gastaban una parte sustancial de su no muy generoso salario en adquirir el último libro que aparecía en

los catálogos extranjeros. Pero no puede ocultarse que era bien rara en nuestro país la biblioteca donde podía hallarse alguna revista dedicada a la publicación de memorias científicas originales.

Con el acceso al profesorado de Mario O. González y Marcelo Alonso, que habían tomado cursos de postgrado en el extranjero y publicado sus primeros trabajos científicos en revistas especializadas, se incorporaron nuevos temas y estilos a la enseñanza de la matemática y la física universitarias. En efecto, a la muerte de Miquel, en 1947, la cátedra de Análisis Matemático quedó bajo la responsabilidad de González, que se dio a la tarea de organizar algunos seminarios de matemática y publicó en 1952 un excelente texto sobre teoría de funciones de variable compleja. Por su parte, Alonso, que se había incorporado a la cátedra de física teórica hacia 1949, publicó en 1958 el primer tomo de un texto muy didáctico de física atómica y sentó las bases de un laboratorio de física atómica y nuclear. Esto último, al igual que el curso de introducción a la energía nuclear para ingenieros electricistas que se inauguró en 1956, guardaban una relación estrecha con las expectativas creadas en torno al anuncio de la empresa norteamericana que monopolizaba en Cuba el servicio eléctrico, de que se proponía inaugurar su primera planta nuclear en 1959, algo que no ocurrió ni se intentó siquiera.

Como se sabe, lo que sí sucedió en 1959, fue la inauguración de un período de profundas transformaciones revolucionarias en la vida nacional. En lo que respecta a la Universidad, estos cambios se expresaron detalladamente por primera vez en la Ley de Reforma de la Enseñanza Superior, promulgada en 1962. Una de las disposiciones de esa ley fue la creación de las carreras de Física y de Matemática, cada una con cinco años de duración, a cargo de las Escuelas respectivas dentro de la Facultad de Ciencias, con la encomienda expresa de que ésta cuidara de intensificar la enseñanza práctica, los seminarios y otras actividades, en forma tal que se estimulara la investigación científica. Así ha ocurrido y lo atestiguan el número y la calidad de los egresados en los distintos centros de enseñanza superior del país, tanto de las licenciaturas de física y matemática, como de los institutos pedagógicos en las correspondientes especialidades.

En nuestro país, es hoy inconcebible que una tesis de maestría o un trabajo de diploma no contenga resultados originales aptos para ser defendidos ante tribunales académicos competentes, mientras que esa exigencia se extrema en el caso de las tesis de doctorado, que han de ser defendidas, necesariamente, ante tribunales académicos cuyo funcionamiento

regula y supervisa, desde 1977, una comisión nacional. A lo que ha de añadirse que entre nosotros la investigación científica tanto fundamental como aplicada a la solución de problemas de interés nacional, es actualmente algo más que una actividad puramente académica, como lo indica el hecho de que a ella han sido dedicadas múltiples instituciones, a partir del decenio de 1960, y que el cargo de investigador científico se ha convertido en una categoría laboral, equiparada con la del personal docente universitario. De manera que incluso existen hoy entre nosotros, pongamos por caso, especialistas en álgebra moderna o en física estadística, cuya actividad laboral consiste en dedicar todo su tiempo a la realización de investigaciones cuyos resultados difícilmente puede esperarse que tengan aplicaciones prácticas a corto plazo. Una comparación de este panorama con el prevaleciente en la Cuba de los años cincuenta es aleccionadora, entre otras cosas, porque permite apreciar en su justo valor el esfuerzo de los pocos que entonces se empeñaron en tratar de hacer ciencia en nuestro país.

Hasta aquí lo esencial de mi intervención, pero no quiero terminar sin referirme brevemente a una anécdota que me parece reveladora.

Tengo entendido que hace unos veinte años, un colaborador le propuso al editor de una importante revista científica europea publicar un artículo sobre el desarrollo de la ciencia en nuestro país. “¿Pero es que existe alguna ciencia en Cuba?”, respondió el editor. Discutieron y finalmente se pusieron de acuerdo en que no se perdería mucho si trataran de averiguarlo. El colaborador se trasladó entonces a la Isla para hacer las indagaciones del caso. Como resultado, en 1983 salió publicado en aquella revista un artículo suyo titulado “El gran salto de Cuba”. Se refería a los muy considerables avances científicos y tecnológicos que en un breve período se habían producido en el país, especialmente en lo relativo a las investigaciones biomédicas y agropecuarias, aun cuando éstas no eran entonces la sombra de lo que son hoy. Pero no recuerdo que mencionara para nada la situación de la física y la matemática. Si, en vista de cuanto he dicho antes, llegan ustedes a la conclusión de que hubiera valido la pena incluir alguna mención, por breve que fuese, al desarrollo de esas disciplinas en nuestro país, me daré por satisfecho.

## **02 El desarrollo de la Física en Cuba desde 1959: un enfoque abarcador**

**Angelo Baracca<sup>1</sup> Víctor Fajer<sup>2</sup> Carlos Rodríguez<sup>3</sup>**

Este trabajo está dedicado a la memoria ...

... del Prof. Andrea Levialdi, extraordinaria figura de destacado científico y hombre, antifascista que participó activamente en los acontecimientos políticos de su época y, aunque gravemente enfermo, aceptó una invitación para impartir un curso de postgrado en Cuba, donde falleció el 8 de diciembre de 1968.

... del Prof. Fernando Crespo Sigler, con quien tuvimos el placer y el honor de colaborar antes de su fallecimiento. Con él ha desaparecido una persona y un científico que se ha dedicado intensamente al desarrollo de su país. Pensamos que, si Crespo hubiese podido seguir en esta investigación, el resultado habría sido mucho mejor.

El científico extranjero que visite a Cuba puede apreciar el alto nivel de la enseñanza y la investigación en sus instituciones de educación superior, así como la gran cantidad y calidad de los centros de investigación científica existentes. En sentido general, estos avances son fruto de cinco décadas de una clara y sostenida política, fundada en el carácter universal y gratuito de la educación y el impulso a la investigación científica como herramienta fundamental del desarrollo económico y social. Un buen ejemplo de este desarrollo de la educación superior y la ciencia, con sus particularidades, se observa en el campo de la Física, por lo que, resulta interesante profundizar en los detalles del proceso histórico de la Física en Cuba, sus elementos generales y específicos y los tiempos en que ocurrió.

---

<sup>1</sup> Departamento de Física, Universidad de Florencia, Florencia, Italia.

<sup>2</sup> Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

En el año 1959, al triunfar la Revolución, no existían en el país actividades que merecieran el nombre de investigación científica en Física ni se formaban en las universidades cubanas físicos en el sentido moderno de la palabra. Por ello, no puede dejar de sorprender el hecho excepcional de que, en un corto plazo de 15–20 años, ya se había desarrollado un sistema de instrucción superior de un buen nivel internacional, y algunas ramas de investigación científica que podían competir con las de países latinoamericanos mucho mayores y de más tradición científica. En los años siguientes el sistema científico cubano se amplió y se fortaleció, asumiendo una estructura moderna y eficiente.

El problema adquiere de hecho un sentido y una relevancia más generales en relación con lo que sucede en los países subdesarrollados. El avance científico-técnico está vinculado al “desarrollo”, por lo menos en la medida en que este término se concibe en el sentido tradicional, relacionado con el modelo de los países más ricos. Sin embargo, no siempre está claro si es una condición necesaria o un resultado de ese “desarrollo”. En este sentido Cuba podría también dar lugar a reflexiones interesantes. La experiencia de América Latina, por ejemplo, fue en general diferente [Gálvez, 1986], con algunos centros de investigación avanzados que en muchos casos desarrollaban investigaciones poco relacionadas con las necesidades nacionales, y cuyo nivel no se correspondía con el de las demás instituciones de educación superior del mismo país. Cuba representa un caso singular, aún más por el porcentaje excepcional de egresados universitarios, que ya supera el ocho por ciento de la población cubana, y el elevado nivel de preparación de éstos.

Informes sobre la Física en América Latina [Morán-López, 2000], colocaban a Cuba (un país de 11 millones de habitantes), junto a Chile, Venezuela y Colombia, entre países con un número intermedio de Doctores en Física, (entre 100 y 500), después de Brasil (3000), México (2200) y Argentina (2000). Adicionalmente, ellos colocan a la Universidad de La Habana (UH) entre las instituciones destacadas de la región en el desarrollo de la Física y reconocen la contribución de los físicos cubanos a áreas tales como la materia condensada y la física de materiales, la energía solar, la optoelectrónica y la física médica.

Cuando ocurrió el colapso de la Unión Soviética, muchas personas pensaron que la organización social de Cuba, las ciencias y el sistema de educación superior no sobrevivirían. Este no fue el caso, sin duda la nueva situación tuvo un impacto negativo en el desarrollo y organización de la investigación científica y la enseñanza, pero la ciencia y la física en particular no colapsaron e incluso alcanzaron algún progreso. En la década ente 1991 y el

2000, la existencia de una “masa crítica” de científicos y tecnólogos, junto a un sistema consolidado de ciencia y educación superior, permitió a la ciencia cubana y a la tecnología, sobrevivir y superar obstáculos que parecían infranqueables. De 1960 a 1990, alrededor de 1300 físicos se graduaron en Cuba (836 procedente de universidades cubanas) y un número similar de profesores de física de la enseñanza secundaria se graduaron en instituciones pedagógicas de nivel superior. El número de Doctores en Física registrados en 1990 por la Comisión Nacional de Grados Científicos fue de 129, aproximadamente el 10 % de los graduados en Física, y el número fue creciendo a una velocidad de 10 Doctores en Física por año. En los años 90, 518 nuevos físicos y 58 Doctores en Física, (no dramáticamente menos que los 103 de los años 80) recibieron sus grados en Cuba. Adicionalmente, los programas de Maestros en Ciencias en Física, que tuvieron una existencia efímera en los setenta, fueron lanzados nuevamente en 1994 y produjeron 108 especialistas en diferentes ramas de la física pura y aplicada.

### **Nota metodológica y organización del trabajo**

El presente artículo reconstruye las principales etapas de este proceso en las décadas desde el triunfo de la Revolución (1959) hasta el presente.<sup>4</sup>

Es necesario anteponer una observación general sobre las fuentes documentarias. Son muy pocos los documentos que quedan sobre el desarrollo de la Física en Cuba en este periodo, y por lo tanto la reconstrucción que presentamos está basada en una investigación de historia oral. La mayoría de las informaciones contenidas en este estudio proceden de entrevistas con colegas cubanos, que fueron los protagonistas de estos acontecimientos. Este enfoque de la investigación supone riesgos de aproximación, relacionados con la memoria personal de cada uno. Naturalmente hemos hecho todos los esfuerzos para averiguar los aspectos inciertos o controversiales, a través de verificaciones cruzadas.

El nivel de los resultados que presentamos no es homogéneo. En efecto, el enfoque que hemos descrito pudo ser aplicado hasta ahora de forma sistemática a los primeros 20 años de nuestra historia, es decir a las décadas de los sesenta y los setenta del siglo pasado. Este periodo tenía aspectos peculiares, ya que fue el del despegue de este proceso, en condiciones sumamente difíciles en el país, y en particular en las universidades, por la falta de una

---

<sup>4</sup> Resultados parciales de esta investigación han aparecido en varias revistas: Baracca, 1999; Baracca, Fajer, Henríquez, 2001, and 2004; Baracca, 2005; Baracca, Fajer, Rodríguez, 2006.

tradición científica antecedente consolidada. En este sentido, los testigos directos han sido insustituibles en transmitir la vivacidad, la fantasía, la creatividad – a veces la improvisación, aunque basada en exigencias de rigor, no siempre fáciles de cumplir – que caracterizaron los primeros pasos y la consolidación de los resultados y las estructuras. Podríamos decir que la vitalidad de los recuerdos personales era compatible con una razonable distancia personal de los eventos, para dar (así nos parece) una buena perspectiva histórica.

En lo que concierne las décadas sucesivas, de los ochenta hasta al presente, el nivel de nuestra investigación queda todavía más atrasado e incompleto: en primer lugar por falta de tiempo para proceder con el método que hemos discutido y también por causa de otros factores que complican el trabajo, donde se entrelazan la mayor complejidad, articulación y amplitud de la fase de madurez del sistema científico cubano, con una menor distancia temporal, que hace más problemática la necesaria perspectiva histórica. Pero quizás la mayor dificultad que caracteriza a este período es la partición drástica que el derrumbe del Bloque Socialista provocó entre las décadas de los ochenta y los noventa. Es como si, después de tres décadas de esfuerzos para construir un sistema moderno y eficiente partiendo prácticamente de la nada, se tuviese que comenzar de nuevo. El desafío de la reconstrucción histórica está dado por la proximidad temporal y el riesgo de caer en interpretaciones ideológicas o apologéticas. A pesar de todo, pensamos que el análisis que presentamos sea lo bastante sólido para explicar la resistencia del sistema científico cubano a la dramática crisis del derrumbe de la URSS sobre la base de la solidez del desarrollo logrado en las décadas precedentes. Por más razón la prosecución de esta historia tendrá que llegar a una reconstrucción más detallada y articulada de la década de los ochenta.

## **Contexto e interés general**

Hay varios motivos generales de interés en el desarrollo científico en Cuba.

1. Un primer motivo de interés reside en los esfuerzos que siempre se han hecho, por el gobierno y la comunidad científica cubana, para vincular la ciencia a las necesidades más urgentes del desarrollo económico y social del país.

Discusiones muy fuertes se abrieron al triunfar la Revolución sobre la necesidad de promover la educación y la investigación científica, y las elecciones que se debían hacer de las ramas que pudiesen ser útiles para el desarrollo: lo veremos directamente en las decisiones que se tomaron desde el comienzo en el caso de

la Física. Esas discusiones no se limitaron al ambiente científico y académico, sino que involucraron por un lado la componente estudiantil (que en las décadas precedentes a la Revolución había jugado un papel importante en los acontecimientos políticos y sociales), y por otro lado otros niveles de dirección y de decisión del país. El caso de Cuba tiene entonces un interés que va más allá de su contexto específico, y está relacionado con el problema general del llamado “subdesarrollo” y los problemas básicos de las relaciones y las influencias entre desarrollo científico, económico, cultural y social.

2. En este contexto, el gobierno cubano y los científicos cubanos han tratado de construir un sistema balanceado de ciencias, evitando especialización en uno u otro campo, como ha sucedido en muchos países desarrollados. Un ejemplo típico es la cercana colaboración entre los institutos meteorológicos y la defensa civil, que permite evitar las peores consecuencias de las catástrofes naturales, tales como huracanes: otro ejemplo lo constituye la colaboración entre la investigación biotecnológica y el sistema de salud pública. No obstante, es bueno observar que también los campos fundamentales fueron desarrollados y otras ciencias.
3. Otro aspecto, relacionado con el precedente, que ha caracterizado a Cuba es el carácter masivo de la educación a todo nivel, y en particular en la educación superior. En 1961, una campaña general de movilización generalizada eliminó el analfabetismo del país. En las décadas siguientes se construyó un sistema bastante avanzado de investigación y educación superior, a partir de niveles de competencia bastante bajos.
4. Gran interés revisten los factores que han contribuido en el desarrollo de la Física y la formación del sistema científico en Cuba. En primer lugar, los esfuerzos y los logros que los físicos cubanos, incluyendo a los estudiantes, alcanzaron con sus propias fuerzas y capacidades desde el primer momento, resultaron determinantes, y contribuyeron en imprimir algunas de las características originales de la Física cubana. Por otro lado, no cabe duda de la importancia determinante de la ayuda, la cooperación, y el soporte concreto de la extinta Unión Soviética y los países socialistas de Europa Oriental: entre éstos, el acceso que los físicos cubanos tuvieron en las más altas instituciones

científicas en la URSS, y el grandísimo número de estudiantes universitarios que, desde el comienzo de los años sesenta y hasta el derrumbe del campo socialista, completaron su formación en los países socialistas europeos, especialmente en la Unión Soviética, pero también en la República Democrática Alemana, Checoslovaquia, Hungría, Polonia y otros.

Sin embargo, hubo otros factores, que pueden resultar más sorprendentes, pero han dado contribuciones determinantes, por lo menos en algunos momentos y en algunas ramas y actividades. Entre estos, las contribuciones de físicos y centros de investigación y de enseñanza superior de varios países “occidentales”, en varios momentos y diferentes formas: ya a partir del año 1961, impartieron cursos o asesoraron las actividades docentes en Cuba, por temporadas más o menos largas una notable cantidad de profesores de muchos países occidentales (EE.UU., Francia, Inglaterra, Italia, Argentina, México, etc.). Algunos de ellos se quedaron en Cuba durante muchos años y contribuyeron a los primeros intentos de actualizar y estabilizar el plan de estudios, organizar los laboratorios docentes y los talleres y promover las primeras actividades de investigación científica. Además de esto, entre 1968 y 1973 físicos franceses organizaron en Cuba “Escuelas de Verano” donde, con colegas de otros países impartieron cursos, trajeron aparatos y materiales. En particular, veremos el papel que físicos franceses jugaron al final de la década de los sesenta en el desarrollo de la electrónica y la microelectrónica, antes que se consolidara la colaboración con la Universidad Estatal de Moscú “M Lomonosov”, con el Instituto Físico - Técnico “A. Ioffe” de Leningrado y otras universidades y centros de investigación de la URSS y Europa del Este. Al mismo tiempo, varios físicos cubanos se formaron en centros de enseñanza y laboratorios italianos (Universidad y laboratorio MASPEC de Parma) y franceses (Universidades de Paris Sud, Montpellier, etc.). En la década de los setenta un programa de la UNESCO permitió a los físicos cubanos colaborar con físicos canadienses, principalmente de la Universidad de Toronto. Algunos de estos vínculos se debilitaron desde mediados de la década de los setenta. Sin embargo, siempre se mantuvieron contactos, aunque en menor escala, con científicos, académicos y profesionales occidentales y de varios países del mundo.

Estos son algunos de los factores que han hecho que la Física en Cuba haya logrado una organización, una estructura, un enfoque que tiene varios aspectos de originalidad: podría decirse que con la Física pasó algo parecido a todas las expresiones culturales en este país, donde varias tendencias e influencias se han fusionado dando un producto original.

## **Fases del desarrollo de la física en Cuba después de 1959**

A partir del triunfo de la Revolución el desarrollo de la Física en Cuba ha atravesado varias fases, de cambio, de crecimiento, de asentamiento. A veces el mismo espíritu con que se enfrentaban los problemas y las dificultades cambió entre una fase y otra: en particular esto pasó en las etapas iniciales, cuando las dificultades para desarrollar un sistema avanzado de enseñanza y educación eran más grandes, y fueron enfrentadas con un entusiasmo, que podríamos caracterizar de romántico. Nos parece conveniente identificar una secuencia de fases, aun si ello resulta un poco artificial. Discutiremos además los desarrollos y el nivel alcanzado por todas las ramas de la Física en cada etapa, de forma comparativa, antes que reconstruir separadamente cada rama en su arco completo de desarrollo durante medio siglo.

Al triunfo de la Revolución las tres universidades públicas existentes en Cuba se encontraban cerradas. Desde finales de noviembre de 1956 el Consejo Universitario había suspendido las actividades docentes debido a la brutalidad de la represión policíaca contra los estudiantes. En el momento del cierre, la matrícula en las tres universidades apenas rebasaba los 15.000 estudiantes, con amplio predominio de las carreras de humanidades sobre las científicas y tecnológicas.

Entre los cursos académicos 1959–60 y 1970–71 la matrícula en las universidades creció sólo en 10 mil estudiantes. Este crecimiento se produjo fundamentalmente por las mayores oportunidades que se ofrecieron a aquellos pocos que habían vencido la enseñanza media superior. Lo más importante es que este modesto crecimiento estuvo acompañado de un sensible cambio en la estructura de las matrículas, a favor de las carreras científicas y tecnológicas. El verdadero salto cuantitativo se produjo en la década siguiente, cuando la ola de crecimiento educacional iniciada con la campaña de Alfabetización de 1961 alcanzó las universidades, incrementando las matrículas en 155.000 estudiantes [Ministerio Educación, 1997].

Durante la **década de los sesenta**, los principales avances se produjeron en la Universidad de La Habana (UH), especialmente en su Escuela de Física (EF), fundada en 1962. Con gran esfuerzo se logró implementar un plan de estudios de Licenciatura en Física actualizado, estabilizar el claustro de profesores, crear los primeros laboratorios y talleres, poner en marcha algunas actividades de investigación y graduar el primer centenar de licenciados en Física, preparados para impulsar la docencia de nivel superior y la investigación científica en varias ramas.

**En la primera mitad de esa década** la situación de la EF permaneció muy inestable, sobre todo por la falta de personal docente propio y la emigración de algunos de los pocos profesores que provenían de la etapa anterior. Prácticamente todos los estudiantes impartían clases a sus compañeros de años inferiores. A partir del año 1962, se contó con la presencia por períodos largos de varios físicos extranjeros, tanto soviéticos como occidentales. Empezó también en 1961 un proceso destinado a jugar más tarde un papel fundamental: el envío de estudiantes cubanos a formarse como físicos en universidades de la Unión Soviética.

A la estabilización del proceso contribuyó la promulgación en 1962, al cabo de un amplio debate y un intenso trabajo, de la Ley de Reforma de la Enseñanza Superior, en momentos en que la Revolución aún luchaba por sobrevivir ante violentas agresiones externas y recién ganaba su primera gran batalla educacional, que fue la campaña de Alfabetización.

La Reforma puso en un primer plano la investigación científica como expresión del vínculo entre la teoría y la práctica, y como vía de participación de los universitarios en el desarrollo económico y social del país, dando inicio a un conjunto de transformaciones revolucionarias que en poco menos de una década modificaron radicalmente la realidad universitaria.

La conciencia de esta necesidad de investigar era muy viva, y desde los primeros pasos empezaron en la EF los esfuerzos para poner en marcha las investigaciones, sobre todo de carácter experimental. A pesar de su carácter sustancialmente subjetivo y de los modestos logros, la introducción tan temprana de este espíritu jugó un papel muy importante. Resultados duraderos fueron el equipamiento de algunos laboratorios y talleres, que proporcionaron la base efectiva y necesaria para el desarrollo futuro de las investigaciones.

Otros dos actos fundacionales muy significativos para el ulterior desarrollo de la Física y las Ciencias en general se produjeron en la UH. En 1964 se inauguró la Ciudad Universitaria “José Antonio Echeverría” (CUJAE), nueva sede de la Facultad de Tecnología. En 1965 se adscribió a la UH el recién fundado Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), llamado a desarrollar los estudios básicos y formar investigadores en los campos de la biología, la medicina, la veterinaria, la química y otras ramas científicas.

También fuera de las universidades se tenía clara conciencia de la necesidad de desarrollar un sistema articulado de investigación científica: así en 1962 se fundó la nueva Academia de Ciencias de Cuba (ACC), con la tarea de impulsar la investigación en las varias ramas. Entre 1962 y 1963 se crearon, bajo los auspicios del Ministerio de Industrias, dirigido por el Comandante Ernesto “Che” Guevara, un grupo de institutos dentro de las ramas del azúcar,

los derivados de la caña, la metalurgia, la normalización, la industria química y la minería; así como el Centro de Automatización Industrial, que jugó un papel en promover la electrónica asociada a la industria. Cuando en 1962 se creó el Centro Latinoamericano de Física (CLAF), organización intergubernamental para la promoción de la Física en América Latina, Cuba la integró como miembro fundador. Todas estas eran semillas que empezaron a formar una base amplia y una cultura científica, que debía dar frutos más tarde.

En la **segunda mitad de la década de los sesenta**, con el regreso de los primeros físicos cubanos graduados en la URSS y la incorporación de las primeras promociones de licenciados graduados en Cuba, se logró estabilizar en la EF el claustro de profesores y conformar un plan de estudios moderno, con fuerte influencia soviética. También se materializaron las primeras actividades de investigación. El número de estudiantes creció y en 1970 se produjo la primera graduación “masiva” de 67 licenciados, que proporcionó una “masa crítica” de físicos con buena preparación básica, los cuales completaron el claustro de la propia EF ó fueron a laborar a otras instituciones recién creadas. En esos años se fundaron nuevos centros de investigación relacionados con la Física en la ACC y dos nuevas Escuelas de Física en las Universidades de Oriente (UO) y Las Villas (UCLV). La primera graduación de la EF de la UO se produjo en 1970. Al mismo tiempo decenas de estudiantes cubanos cursaban estudios de Física en universidades soviéticas, alemanas y de otros países socialistas de Europa.

En esta fase creció un animado debate sobre la selección de las líneas de investigación que sería conveniente desarrollar. Existía consenso sobre la necesidad de concentrar esfuerzos en determinadas direcciones, teniendo en cuenta lo limitado de los recursos disponibles y con vistas a lograr una efectiva vinculación de las universidades y centros de investigación con los grandes problemas y las necesidades de desarrollo del país. Es en estos años donde se define la orientación a largo plazo de las investigaciones científicas en la mayoría de las instituciones relacionadas con la Física. En la EF, aunque como institución docente se mantuvo la formación de licenciados con un perfil amplio, a los efectos de la investigación y el postgrado se privilegió la Física del Estado Sólido, experimental (mayormente) y teórica, con énfasis en los materiales y dispositivos semiconductores, los metales y el magnetismo. En la CUJAE se impulsó la Microelectrónica y, algo después, la Óptica. En la ACC se emprendió el desarrollo de la Geofísica, la Astronomía, la Meteorología, a partir de 1968 de la Física Nuclear y desde 1970 la Óptica Cuántica, la Acústica y la Teoría de Campos. La Física Nuclear y sus aplicaciones también se impulsaron en la UO (junto a la Física de Rayos X y Metales, la

Óptica y la Espectroscopia), el CNIC y en el Hospital Oncológico de La Habana. En la UCLV se comenzó a desarrollar la Física de Metales. También creció un Centro de Investigaciones Metalúrgicas y un Instituto de Metrología en el Ministerio de la Industria Básica, así como un laboratorio central en el Ministerio de Comunicaciones. Fue surgiendo así una red de instituciones científicas, más o menos especializadas, en las que se fueron creando grupos de físicos con programas de investigación que, en su conjunto, cubrían un amplio espectro de las ciencias físicas.

Comenzó a institucionalizarse el intercambio científico con universidades soviéticas e institutos de la Academia de Ciencias de la URSS, fundamentalmente dirigido, no a la docencia de pregrado, sino a la formación de postgrado de los jóvenes licenciados y al fortalecimiento de los grupos de investigación incipientes. Al final de la década, como hemos mencionado, por iniciativa de físicos franceses e italianos, empezaron en la UH las “Escuelas de Verano”. También la colaboración con la Universidad de Parma y el Instituto MASPEC de esa ciudad, comenzó a finales de los sesenta.

La **década de los setenta** vio el despegue decisivo de la investigación, tanto en la rama de la Física como en otras. Importantes fueron los avances en la Microelectrónica en la UH, tanto en la EF como en la CUJAE, donde existía un proyecto de planta piloto para la producción de dispositivos semiconductores y circuitos integrados. En la primera mitad de esa década la actividad en este campo alcanzó un buen nivel internacional, llegando a fabricar completamente circuitos de mediana integración. Cuando en 1975 se realizó en La Habana el IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido, pudo constatarse cuánto se había avanzado en este campo en un plazo tan corto. También se experimentaban avances notables en la Física Nuclear, la Óptica, la Meteorología, la Geofísica y la Física Médica. A comienzos de los setenta comenzaron y produjeron sus primeros graduados los estudios de postgrado a nivel de maestría (en Cuba y en el extranjero) y doctorado (en el extranjero). A finales de esa década se fundó la Sociedad Cubana de Física.

Paralelamente se reformaron también las instituciones encargadas de elaborar y conducir la política científica, así como de orientar todo el trabajo científico del país (1974, Consejo Nacional de Ciencia y Técnica, CNCT; 1976, Ministerio de Educación Superior, MES). Esta institucionalización “agarrotó” en cierto grado el espíritu romántico, improvisador, de entusiasmo, que había animado la primera etapa, generando algunas contradicciones; pero introdujo la organización y racionalización que permitió el pleno desarrollo del sistema

científico cubano en la década siguiente. “Por primera vez en Cuba, a diferencia de los países latinoamericanos, la ciencia recibía un apoyo decisivo y ocupaba un lugar de primer orden.” [Gálvez-Taupier, 1986]

Sobre las bases sentadas en las dos décadas precedentes, los **ochenta** vieron el pleno desarrollo del sistema científico cubano, y en particular de la Física. Surgió una nueva organización, donde la Ciencia entraba dentro de la planificación de la economía nacional, especialmente en apoyo a los procesos de transferencia de tecnologías industriales desde la URSS y Europa del Este. La decisión, por ejemplo, de construir una central electronuclear, condujo al desarrollo acelerado de la esfera nuclear. Las inversiones para el desarrollo de la industria electrónica, también impulsaron las investigaciones relacionadas con esa rama. Sin embargo, a pesar de los indudables avances obtenidos, hacia mediados de los 80 se fue conformando en todo el país una visión crítica de la situación de la investigación, dada por el bajo nivel de aplicación de los resultados científicos, la dispersión y la falta de integralidad de muchos de los esfuerzos que se realizaban. Esa crítica formó parte de otra más general, donde se reflejaron muchas de las características originales de la Revolución Cubana con respecto al modelo socialista originado en Europa del Este, manifestadas en la posterior evolución de ambos procesos, y que dio lugar al proceso de “Rectificación de Errores y Tendencias Negativas”. La insatisfacción por el aporte económico y social de la Ciencia no condujo aquí a la pérdida de confianza en ella, sino a su fortalecimiento. Como resultado, se produjeron cambios importantes en la política científica, que tuvieron un significativo impacto en el desarrollo de la Física en las universidades y centros de investigación. Manifestaciones de estos cambios a nivel nacional fue la creación de numerosos centros de investigación-producción, el surgimiento de los Polos Científicos, los Programas Científico-Técnicos Nacionales, Territoriales y Ramales y el auge del movimiento innovador denominado Forum de Ciencia y Técnica (Rodríguez, 1997).

Con el derrumbe de la Unión Soviética, **en los noventa** todo el sistema cubano de investigación científica y educación superior sufrió una tremenda reducción de recursos, tanto financieros como materiales, y se interrumpieron importantes vínculos de colaboración científica internacional. Muchos programas en Física fueron reducidos, o reorientados, ya que la prioridad fue asignada a sectores menos relacionados con la Física, tales como turismo, alimentación, biotecnología y farmacia. A pesar de todo, fue precisamente la solidez que el sistema científico había logrado en las tres décadas precedentes, la masa crítica, el nivel

profesional y el compromiso social de sus científicos, lo que le permitió resistir en lo fundamental ese choque tremendo. Sin dudas, los cambios y las consecuencias han sido notables, la actividad experimental ha disminuido considerablemente, un número significativo de físicos se han ido al extranjero, las matriculas, las graduaciones y los doctorados han disminuido, pero el grueso de la comunidad ha resistido, en ocasiones reorientando su actividad, y sigue trabajando a alto nivel profesional. Se han establecido nuevas relaciones e intercambios con muchos países (en particular España y América Latina). En algunas ramas se han comenzado nuevas actividades. En definitiva, la Física en Cuba sigue siendo muy vital y mantiene un buen nivel internacional.

## **1. Hasta la mitad de los sesenta: abordando las dificultades**

### **1.1. La Reforma Universitaria de 1962**

La UH reabrió sus puertas en enero de 1959 y el 11 de mayo Fidel Castro inauguró el nuevo curso académico. El Gobierno Revolucionario declaró el carácter gratuito y democrático de la educación: un factor que debía jugar un papel muy relevante en Cuba [ver la entrevista con Melquiades de Dios Leyva en esta monografía].

Junto a la lucha política, se desarrolló un fuerte debate sobre la reorganización de la universidad, la necesidad de un sistema moderno de educación superior y de investigación científica relacionado con el desarrollo de la nación [De Armas 1984]. Este debate involucró varios niveles de la sociedad cubana. Además de los profesores y varios sectores profesionales, fue muy importante la participación de los estudiantes, quienes habían tenido una activa presencia en la lucha revolucionaria. La implementación de un plan de becas y otras formas de ayuda económica, abrieron las puertas de la universidad a muchos jóvenes de talento que antes no podían acceder a los estudios, cambiando así la composición social del estudiantado universitario. Varios dirigentes de la Revolución, especialmente Fidel Castro y Ernesto Guevara, abordaron reiteradamente en sus discursos públicos la importancia de transformar las universidades y desarrollar la investigación científica. De hecho, el discurso de Fidel del 15 de enero de 1960, donde planteó que “El futuro de este país tiene que ser un futuro de hombres de ciencia, de hombres de pensamiento”, se conmemora hoy como “el Día de la Ciencia Cubana”. Entre finales de 1959 y principios de 1960, el “Ché” pronunció discursos en las tres universidades públicas, donde expuso sus ideas sobre el papel de las universidades y la importancia de incrementar las matrículas de las carreras científicas y tecnológicas. Más tarde, como Ministro de Industrias, propuso varias áreas de desarrollo de la

investigación universitaria en apoyo al desarrollo tecnológico del país, entre las que se encontraban ramas de frontera como la Electrónica del Estado Sólido.

Aunque la Ley de la Reforma de la Enseñanza Superior en Cuba [Reforma Universitaria, 1962], elaborada por una comisión compuesta de profesores y estudiantes, no fue promulgada hasta el 10 de enero de 1962, muchas de las ideas contenidas en ella y sobre las que se iba alcanzando un consenso, fueron implementadas en los años 1960 y 1961. En este periodo se llevaron a la práctica numerosas iniciativas que después fueron institucionalizadas. La Reforma fue el resultado de un proceso que se fue radicalizando, al tiempo que todo el país se transformaba y hacía frente a las agresiones políticas, económicas y militares externas.

Por ejemplo, se necesitaba urgentemente desarrollar radiocomunicaciones de ondas cortas, para lo que requería personal técnico calificado: esto condujo a que la primera reforma sustancial del plan de estudios, incluyendo los cursos de Física, se diera en 1960 en la Facultad de Tecnología de la UH [Altshuler, 1994], promovida por los estudiantes, quienes se enfrentaron con los profesores, más conservadores. Los estudiantes contrataron nuevos profesores, quienes asumieron la tarea de introducir los cambios esperados en la carrera y elaborar nuevos planes de estudios. Esta reforma insistía en la preparación físico-matemática del alumno, casi duplicando el tiempo destinado a la enseñanza de la Física. El problema más difícil que se tuvo que enfrentar fue precisamente la enseñanza de las cuatro asignaturas de Física, por la escasez en el país de personas con la preparación suficiente. Para obtener rápidamente un texto de Física adecuado, se reprodujeron en casetes capítulos escogidos, en función del tiempo asignado, en textos de reconocido prestigio (por cierto, en inglés: los de F. W. Sears, y F. W. Sears y M. Zemansky). El reto siguiente fue crear un cuerpo de profesores capaces de impartir estas clases: se incluyeron los pocos graduados que se suponía tenían conocimientos de Física apropiados, algunos de los alumnos más brillantes de años superiores de la carrera de ingeniería, y varios profesores de bachillerato. No pocos encontraron inicialmente grandes dificultades para dominar las materias a ellos encomendadas, sobre todo para resolver los problemas propuestos en los textos guías [Altshuler, 1997–a]. Aún más demoró mejorar la calidad de la labor experimental que debía realizarse en los laboratorios dedicados a la docencia.

En la Facultad de Ciencias el movimiento en pro de la Reforma llegó más tarde que en Ingeniería [Altshuler, 1997–a]. Para reformar la docencia se examinaron modelos de varias universidades occidentales. Sin embargo, la carencia de recursos para la enseñanza se

manifestó como una limitación muy grave. Marcelo Alonso intentó sin éxito importar de los EE.UU. equipos que quedaban ociosos de las investigaciones sobre la bomba atómica. Introdujo nuevas prácticas en los laboratorios y algunas tesis de grado de Física Moderna. A finales de 1959 solicitó una licencia para cumplimentar un contrato como Asesor Científico de la OEA [Boletín, 1959; 1960] y viajó a los EEUU, donde fijó definitivamente su residencia.<sup>5</sup> Muy pocos fueron los profesores que se quedaron en Cuba. En 1960 el Dr. Luciano Nilo Blanco montó en el edificio de Física, para el Departamento de Energía del Ministerio de Obras Públicas, el primer laboratorio para el estudio de energías no convencionales (solar y eólica) [A. Cerdeira, notas escritas]: este trabajo, en que colaboraron alumnos de Ingeniería Eléctrica concluyó con la salida de Nilo Blanco del país.

La Reforma concedió un papel muy especial a la investigación científica: “La universidad en la sociedad cubana de hoy es el vínculo por el cual la ciencia y la técnica modernas, en sus más elevadas manifestaciones, han de ponerse al servicio del pueblo de Cuba” (Consejo Superior de Universidades, 1962). En el apartado de fines de la Universidad se dice: “(c) realizar investigaciones científicas, desarrollar el espíritu de investigación en los universitarios y colaborar con las instituciones científicas y organismos técnicos extra-universitarios” (p.1) y, más adelante: “La función de las instituciones de investigación científica tiene que estar necesariamente ligadas a las instituciones de enseñanza superior” (p.10). “Estrechamente ligado con la formación de científicos está el trabajo de éstos en la investigación”. Se establecía así “la concepción del departamento – y no cátedra – como base de la estructura universitaria en cuanto se refiere a la docencia y a la investigación”.

En el mismo año 1962 se creó la nueva Academia de Ciencias de Cuba (ACC), con el propósito de fomentar la investigación científica en el País.

## **1.2. Creación y primeros pasos de la Escuela de Física de la UH (1961–1965)**

En diciembre de 1961 se creó la Escuela de Física (EF) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Habana. Además de recursos materiales, a la nueva Escuela le faltaba tradición científica y un equipo profesional en la docencia y la investigación. El retiro (y posterior fallecimiento) del Dr. Manuel F. Gran<sup>6</sup>, enviado como Embajador en París, y la

---

<sup>5</sup> Marcelo Alonso, autor de varios textos de Física muy populares, fue uno de los físicos cubanos más conocidos en occidente. A finales de su vida visitó Cuba en dos ocasiones. Sus impresiones sobre la Física en Cuba están recogidas en su artículo publicado en esta monografía.

<sup>6</sup> Sobre la figura y el papel de Manuel Gran antes de la Revolución véase el Trabajo por José Altshuler y Angelo Baracca en esta monografía.

salida del país de Marcelo Alonso y de muchos otros profesores dejaba el claustro diezmado [para la historia de la EF, aquí y en los próximos párrafos, véase también la entrevista a Hugo Pérez en esta monografía]. En las palabras de su primer director, Rubén Martí:

... toda la nueva Escuela de Física cabía en la maleta del Director, las condiciones iniciales eran pésimas. No había ni equipos de laboratorio, ni profesores, ni alumnos bien preparados, ni instalaciones e inmuebles adecuados. [Memorando, 1962]

Por falta de docentes se utilizaron estudiantes de años superiores en calidad de Alumnos Ayudantes e Instructores no Graduados como auxiliares de laboratorio y para dar clases a los alumnos de los primeros años. Inicialmente ni siquiera existía una Biblioteca y en aquellos años, debido al bloqueo, resultaba difícil conseguir libros modernos. Sin embargo, pronto los estudiantes dispusieron de los textos occidentales más actualizados que se reproducían sin pagar derechos de autor en las “Ediciones Revolucionarias” y se les entregaban de forma gratuita a pesar de sus altos precios en el mercado internacional. Al final de ese período la Biblioteca llegó a reunir unos 3.000 volúmenes [Estado, 1976].

Después de la Reforma Universitaria se realizó una primera reestructuración del plan de estudios en Física, pero las continuas dificultades impidieron que el plan se estabilizase y se introdujeron varios cambios en los años siguientes.

El primer curso de licenciatura en Física comenzó en 1962, con una matrícula de cerca de 70 alumnos. La heterogeneidad de su composición, sumada a dificultades de la naciente Escuela, determinó una promoción de sólo dos alumnos para el segundo curso. Al mismo tiempo, se tenían tres alumnos en tercer año y cuatro en cuarto, como planes de transición que procedían de la antigua carrera de Ciencias Físico-Matemáticas. El número de graduados en este periodo de tres años fue sólo de unos 6 o 7. [Estado, 1976]

Hay que tener en cuenta que los estudiantes regresaban a la universidad después de varios años sin estudiar. Muchos se habían involucrado a la lucha revolucionaria y a su regreso, los acontecimientos políticos y militares, el trabajo para la reorganización del país y el debate sobre su futuro desarrollo absorbían a los mejores entre ellos. Hubo también varias contradicciones entre un cuerpo docente que mantenía una actitud más académica y el entusiasmo de los estudiantes más comprometidos con el proceso revolucionario.

Con los pocos recursos disponibles se trató de orientar la carrera “hacia las concepciones modernas de la Física, que son las de investigación y no las de la enseñanza” [Memorando, 1962]. El esfuerzo para dar a la Escuela una estructura estable no pudo conseguir el resultado esperado hasta el final de la década, pero se lograron algunos resultados preliminares importantes. Dos factores tuvieron gran relevancia.

En primer lugar, en 1960 salieron de Cuba los primeros becarios para formarse en la URSS: algunos estudiaron Física en la Universidad de Amistad con los Pueblos “Patricio Lumumba” y en la Universidad Estatal “M. V. Lomonosov” de Moscú. Seis estudiantes, enviados expresamente por Ernesto “Che” Guevara, para estudiar Ingeniería, cambiaron su carrera por Física. En los años siguientes se comenzó a enviar estudiantes por cientos y luego miles cada año a los Países Socialistas, fundamentalmente a la URSS.

Un segundo factor tuvo una relevancia inmediata: la presencia de muchos profesores extranjeros, en parte soviéticos, pero también de muchos otros países “occidentales”. La hispano-soviética Amanda Blanco llegó en 1962, e impartió excelentes cursos de Acústica y de Electrónica. Otros, como Kochanov (Metodología y fundamentos filosóficos de la enseñanza) y Ponomarenko (laboratorio de prácticas), asesoraron las actividades de enseñanza. Vladimir Grishin, un teórico muy calificado, experto en aceleradores de partículas, visitó el país en dos etapas, quedándose para un total de 4–5 años, e impartió cursos de Mecánica Cuántica, Física Nuclear, Física Atómica; además organizó las prácticas y el laboratorio docente de Física Atómica y Nuclear.

A partir del curso académico 1961–1962 muchas asignaturas fueron impartidas por profesores visitantes occidentales, de muchas nacionalidades. Algunos se quedaron en Cuba un tiempo limitado, impartiendo un curso (entre otros, el británico Trevor W. Marshall<sup>7</sup>, el estadounidense R. Bourret, el israelí Eleazar Barouch, el francés Michel Degallier y el mexicano Zapata), otros se quedaron varios años: el francés Claude Monet-Descombey contribuyó a desarrollar un buen laboratorio de electrónica [Monet-Descombey, 1963]. El ingeniero norteamericano Theodore Veltfort, combatiente de la guerra de España, llegó a Cuba en 1962 con el propósito de ser útil para las nuevas tareas del país. A partir de contactos con la Junta Central de Planificación y conversaciones con el Ministro de Industrias Ernesto “Che” Guevara y el Vicerector José Altshuler, decidió quedarse a trabajar en la EF. Veltfort y la física argentina Dina Waisman impartieron hasta 1968 los cursos de Física del Estado Sólido y Dispositivos Semiconductores, contribuyeron a la organización del Taller de

---

<sup>7</sup> Marshall sería posteriormente el autor de la llamada *Electrodinámica Estocástica* y también realizaría relevantes contribuciones en los problemas fundacionales de la Teoría Cuántica. Algunos de sus primeras contribuciones son (una lista más completa puede ser encontrada en: <http://homepages.tesco.net/~trevor.marshall/mybib.html>): T. W. Marshall, *Random electrodynamics*, Proc. Roy. Soc. A, 275, 476–491 (1963); T. W. Marshall, *Statistical electrodynamics*, Proc. Camb. Phil. Soc., 61, 537–546 (1965); T. W. Marshall and P. Claverie, *Brownian motion and quasi-Markov processes*, Physica A, 103, 172–182 and 104, 223–232 (1980).

Electrónica y desarrollaron las primeras actividades de investigación para fabricar componentes semiconductores [Velfort, 1998].

La EF de la UH se estructuró inicialmente en Departamentos de Enseñanza e Investigación, es decir: Física del Estado Sólido, Física General, Física Teórica; aunque no oficializado, había un Departamento de Física Nuclear, que recogía los recursos dejados por Alonso. De hecho, las actividades en Física Nuclear eran en aquella época una de las más importantes en la EF. El desarrollo de la investigación fue una constante preocupación de las autoridades académicas [Altshuler, 1963; Ventura Montes, 1963].

Merece mencionar – por su alcance metodológico además del contenido práctico – unas sugerencias contenidas en un plan para el Laboratorio de Electrónica planteado en 1963 por el mencionado profesor francés Claude Monet-Descombey al Director de la EF, y por su conducto al Rector:

[el Laboratorio] debe ser más bien encargado hacia el mantenimiento y diseño de equipos experimentales de física, bajo la dirección directa de los físicos interesados, de modo que este personal podría ser el núcleo a partir del cual se crearía un equipo de técnicos en circuitos electrónicos necesario a cualquier tipo de investigaciones científicas, sea en Física del Estado Sólido (transistores) o sobre todo en Física Nuclear en el caso de la compra de un acelerador de partículas o algo similar. [Monet-Descombey, 1963]

Por otro lado, se sugería, en colaboración con la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Tecnología, agregar un Laboratorio de Investigación Tecnológica, que:

quedaría más bien como núcleo de un grupo de investigación tecnológica para resolver problemas de electrónica planteados en el país y seguir diseñando equipos con vista a fabricación de tipo industrial (radio comunicación por ejemplo). [Monet-Descombey, 1963]

El plan seguía discutiendo el desarrollo del trabajo inicialmente conjunto de los dos laboratorios, para lograr diseñar y construir equipos:

Sería muy bueno tener nosotros también un equipo a realizar, bastante difícil, que requiera tiempo, mucha consulta de libros y revistas, muchas pruebas y ensayos preliminares, una cosa que sea el fruto de todas las atenciones, para que sea un trabajo colectivo por excelencia, para que provoque la consulta espontánea de todos los compañeros entre sí, favoreciendo la unión de todos y eliminando las discrepancias posibles, y que al final resulta ser un aparato útil, pero con su “historia”. Para eso pensamos, que un plazo de no menos de 2 años, se podría hacer una máquina de calcular analógica de 8 o 12 amplificadores acoplados a un registrador para empezar y que se podría seguir perfeccionando.

Este proyecto puede parecer muy difícil de realizar en las condiciones presentes de esta Universidad pero creemos que si se enfoca bien el problema es posible ver bien claro que

esto tendrá que ser hecho un día u otro si se quiere desarrollar un mínimo de investigación fundamental o aplicada en Cuba. [Monet-Descombey, 1963]

Resulta interesante el esfuerzo que, aún con los escasos medios que se tenían, se hizo en la EF para prestar servicios a otras instituciones y difundir la ciencia y su utilización. En el citado “Memorando” del Director, se enumeraban varias actividades de chequeo de equipos, montaje de laboratorios, determinación de propiedades físicas de muestras, brindadas por varios Laboratorios de la Escuela al Ministerio de la Construcción, al aeropuerto civil de Ciudad Libertad, al Ministerio de Industrias, al Hospital “General Calixto García”. El Comandante Ernesto Che Guevara, cuando era Ministro de Industrias, pidió que se dieran cursos de materias científicas, el sábado por la mañana, en el Consejo de Dirección de su Ministerio [véase la entrevista a Hugo Pérez en esta monografía], y otros en la Junta Central de Planificación y varios Ministerios [Jiménez Pozo y Sánchez Fernández, 1993].

Los primeros estudiantes se graduaron en Física en la primera mitad de los sesenta. Algunos de ellos, como José Antonio Tabío, Adriana Fornés, Alfredo de la Campa y Blanca Reyes, tuvieron una larga y dedicada carrera como profesores de la EF. Sin embargo, solo al final de la década se logró un flujo de graduados suficiente para las necesidades de la universidad y del país (Par. 2.1).

### **1.3. Los primeros esfuerzos para promover la investigación en la Escuela de Física**

Los esfuerzos para impulsar la actividad de investigación empezaron muy temprano, a pesar de las enormes dificultades y la falta de cualquier tipo de recursos, aun si los resultados se cosecharían en la década siguiente [véase también la reconstrucción por Elena Vigil en esta monografía]. Hubo un primer intento de promover un sistema de revistas científicas, para acostumbrar la gente a escribir y publicar artículos (hasta entonces existía una Revista de la Sociedad Cubana de Ciencias Físicas y Matemáticas, creada por Mario González y editada materialmente por Manuel Gran: ver el artículo de J. Altshuler y A. Baracca en esta monografía). En 1963 se editó el primer número de las Memorias de la Facultad de Ciencias. El proyecto era publicar una serie para cada Facultad, pero solo apareció la serie de Ciencias, y en ésta los fascículos de Geología, Matemática, Biología, pero no el de Física.

El Vice Rector José Altshuler, Presidente de la Comisión de Investigación, hizo un esfuerzo notable para promover las actividades de investigación en la UH. Se solicitaron a los Directores de Departamentos informes sobre los trabajos de investigación iniciados o que se proyectaba iniciar, se crearon Círculos de Investigación de Alumnos, destinados a crear en

estos hábitos de investigación, y se convocó a la presentación de proyectos, a pesar de los limitados recursos. El 30 de octubre de 1963 la Comisión de Investigación editaba un folleto titulado “La investigación científica: un panorama” [Investigación, 1963a], como intento de recoger, coordinar y evaluar todas las actividades en todas las ramas, aunque muchas se encontrasen en un estadio inicial: en la rama de la Física aparecían el Laboratorio de Problemas de Electrónica y la construcción de un prototipo de oscilador de audio RC.

Otro estudio elaborado por la Comisión en 1963 [Investigación, 1963b] examinaba los aspectos importantes, a partir del concepto científico, la investigación pura y aplicada, sus proporciones y costos, la organización científica, la política y el financiamiento; el primer párrafo decía:

Establecimiento del concepto científico. Aunque es una forma superior de conocimiento, la ciencia es también la forma de la conciencia social y se presenta como un producto general y espiritual del desarrollo de la sociedad misma, por lo tanto el producto de la labor científica es una categoría de la división del trabajo, desarrollado en esta actividad, por los trabajadores intelectuales. [Investigación, 1963b]

Como hemos mencionado, en la EF jugaron un papel muy importante en desarrollar una mentalidad científica y mover los primeros pasos en la investigación en la electrónica y semiconductores la argentina Dina Waisman y el norteamericano Theodore Veltfort [Veltfort, 1998]. Dina había traído de Argentina la experiencia del uso de una técnica para el crecimiento de monocristales de germanio y con este fin se adquirió un horno de radiofrecuencias.

El Director del Instituto Físico-Técnico “A.F. Ioffe” de la Academia de Ciencias de la URSS, B.P. Konstantinov, visitó La Habana e invitó a Theodore Veltfort y Dina Waisman a visitar su Instituto en Leningrado, con el fin de establecer una colaboración. En noviembre de 1964 la ACC propició esta visita de dos meses [Veltfort, 1998], en que visitaron, además del “Ioffe”, otros laboratorios en Moscú y Tallin. Recibieron información avanzada sobre las investigaciones en semiconductores, literatura científica, notas de cursos, lograron ayuda en materiales didácticos y el envío a Cuba de material básico para organizar el laboratorio de semiconductores. A pesar de estos resultados positivos, la colaboración entre la Escuela de Física y el Instituto “A. F. Ioffe” no se desarrolló hasta comienzos de los setenta, por divergencias institucionales entre la UH y la ACC, de modo que las primeras actividades de investigación en semiconductores continuaron de manera autónoma.

#### **1.4. Otras actividades e instituciones científicas y de educación superior**

La nueva Academia de Ciencia de Cuba (ACC) fomentó el desarrollo de varias ramas científicas. En 1963 se creó el Departamento de Matemática de la ACC, que incluía un Grupo de Cibernética.

**Geofísica.** En 1964 se inauguró el Departamento de Geofísica de la ACC (integrado por 11 miembros no graduados y 9 técnicos) y fue constituido el Comité Nacional del Año Geofísico, en colaboración con la Academia de Ciencias de la URSS. Con el apoyo de esta, se crearon las estaciones Geomagnética, Ionosférica, Sismológica y de Sondeo Vertical de la Ionosfera [Geofísica, sin fecha]. En 1965 se instaló una Estación Sismológica en Santiago de Cuba y se realizó el primer levantamiento magnético de Cuba, con ayuda de especialistas soviéticos. Comenzó la aplicación de técnicas físicas en las prospecciones mineras y petrolíferas, con instrumentos nucleónicos, que en 1963–65 llevaron al descubrimiento de los yacimientos de Cristales, Majagua y Cuenca Central, en colaboración con empresas soviéticas.

**Astronomía y Meteorología.** En 1962 empezaron las actividades en Astronomía y Meteorología. En 1964 se creó un Grupo de Trabajo en la ACC [Historial, sin fecha; González, 1985; Ortiz, 1987], se ampliaron los servicios de cálculo astronómico en el Observatorio Nacional de la Marina de Guerra Revolucionaria, se publicaron los datos sobre salidas y puestas del Sol y de la Luna y las horas de las mareas en el Suplemento al Almanaque Náutico. Con la colaboración de la Academia de Ciencias de la URSS se formaron los técnicos cubanos que integraron la primera estación de Rastreo Visual de Satélites Artificiales. Ya en abril comenzaron las observaciones regulares, que eran enviadas al centro de Moscú. En calidad de miembro de la Comisión Intergubernamental de los Países Socialistas para el Uso Pacífico del Espacio Extraterrestre (Intercosmos), Cuba participó desde 1964 en el grupo de trabajo permanente de Meteorología Cósmica del citado organismo [Ortiz, 1987]. En 1965 la sección de Astronomía del Observatorio Nacional fue incorporada a la ACC y se constituyeron como entidades independientes el Instituto de Meteorología en Casablanca, y el Grupo de Astronomía, radicado en el Capitolio Nacional, que en 1965 adquirió categoría de Departamento [Doval, 1991]. Comenzó a estructurarse una extensa red de estaciones meteorológicas que se extendió a todo el país, que anteriormente dependía de la labor de meteorólogos aficionados y de algunas instituciones que enviaban información voluntariamente, con más o menos regularidad, además de la información meteorológica local

que recogía el Observatorio Nacional, creado en la capital en 1902. En el mismo año 1965 visitó Cuba el Dr. Lazlo Destre, director del Observatorio de Konkoly, Budapest, Hungría, para establecer una colaboración para el estudio de las estrellas variables.

**Comunicaciones espaciales.** Ya hemos recordado que con el triunfo de la Revolución se manifestó la necesidad de dotar urgentemente al país con un sistema de comunicaciones autónomo lo cual motivó la renovación de los planes de estudios en la Facultad de Tecnología en 1960 (Par. 1.2). La crisis de los misiles de octubre 1962 dejó dramáticamente clara la necesidad de un sistema de comunicación de larga distancia para “condiciones excepcionales”. La Unión Soviética puso en órbita en 1965 su primer satélite para comunicaciones, el Molniya-1. En noviembre de ese año representantes del gobierno cubano participaron en un encuentro en Moscú para discutir la proposición soviética de utilizar las potencialidades que ellos habían desarrollado “para el estudio y la utilización pacíficos del espacio externo” [Altshuler, 1997-b]. En seguida, el Programa Intercosmos proporcionó el nuevo sistema que se requería para “condiciones excepcionales” (Par. 2.6). Se daban así los primeros pasos del país en la investigación espacial, aunque el objetivo de establecer un sistema de comunicaciones internacionales vía satélite no pudo plantearse hasta comienzos de los setentas, con la creación del Programa Intersputnik.

**Física Médica.** Desde inicios de la década de los 60, un pequeño grupo de físicos comenzó a trabajar en el Instituto Nacional de Oncología de la Habana, principalmente vinculados a la planificación y dosimetría de tratamientos de radioterapia.

**Metrología.** Muy importante fue la introducción en Cuba del Sistema Métrico Decimal (SMD), que se asentó realmente con la Revolución: la Ley 915 de diciembre de 1960 daba un plazo de 3 años para aplicarlo. En 1962 se creó en el Ministerio de Industrias la Dirección de Normas y Metrología y en 1963 la Escuela de Metrología, mientras salió el primer becario cubano para estudiar Metrología en Rumania. Vencida sin éxito la fecha para la aplicación del SMD, la ley 1134 de 1964 dio otro plazo de 2 años. En febrero de 1965 se inauguró el primer laboratorio de Metrología. A partir de 1963 llegaron los primeros patrones de la RDA y la URSS, con que comenzaron las verificaciones de instrumentos: resaltó la verificación de todos los tanques de almacenamiento de combustibles del país (especialmente los de las refinerías) y de las básculas industriales en los centrales azucareros. En estos primeros esfuerzos se destaca la figura del Dr. Ángel Álvarez Ponte, físico e ingeniero, erudito y promotor incansable del desarrollo de la Metrología en Cuba. Vencida también la fecha de

1966, los trabajos para un “censo” nacional de equipos de medición comenzaron en 1968. La normalización metrológica comenzó a tomar auge y conoció después un notable desarrollo.

**La Facultad de Tecnología de la UH.** Debido a la falta de espacio para ampliar la UH, situada en el mismo centro de la ciudad, comenzó en 1960 la construcción en La Habana de una nueva sede de la Facultad de Tecnología. En 1964 Fidel Castro inauguró la Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría (CUJAE), que en aquel entonces contaba con alrededor de 5000 estudiantes y llegaría a ser años después una universidad politécnica independiente, casi tan importante y numerosa como la bicentenaria UH, donde se formarían los ingenieros y arquitectos de las nuevas generaciones.

**La Universidad de Oriente (UO).** En la UO, fundada en 1948 en Santiago de Cuba, no existía una carrera independiente de Física y el desarrollo del Departamento de Física General fue más lento que el de la Escuela de Física de la UH [véase la historia específica por Méndez Pérez en esta monografía]. En 1962 el Decano de la Facultad de Ciencias realizó una visita a Universidades y centros en Alemania e Italia, firmando un convenio de colaboración con la Universidad Técnica de Dresden [Tratado, 1962]. En un informe [Beltrán, 1962] mencionaba varios físicos italianos que había encontrado y le habían declarado su interés a visitar la UO, pero estas posibilidades se quedaron en el intento (algunos de los físicos citados visitaron más tarde la UH). Se concretaron las visitas del ingeniero eléctrico Mario Chirco, quien tenía un alto nivel físico matemático y se quedó en la UO varios años y del joven físico nuclear Piero Basso. También el Dr. Soto del Rey viajó a Polonia, URSS, Bulgaria [Soto, 2000].

## **2. La segunda mitad de los sesenta: estabilización y despegue**

### **2.1. Estabilización de la Licenciatura en Física en la EF de la UH**

Alrededor de la mitad de los años sesenta la EF sufrió una etapa de crisis: varios profesores abandonaron el país [véase la entrevista a Hugo Pérez Rojas, segundo director de la EF, en esta monografía]. A pesar de ello, la voluntad de lograr una estructura estable, basada en profesores cubanos, era muy fuerte. A partir de 1966 comienza un proceso de fortalecimiento del claustro con la incorporación de nuevos graduados (Fernando Crespo, Eddy Jiménez, Medel Pérez, Arturo D´Acosta, José Roig, Mercedes Alonso, Fernando Comas). Un factor decisivo resultó el regreso en los años 1966 y 1967 de los primeros físicos graduados en la URSS (Daniel Stolik, Armando Pérez, Juan Fuentes, Elías Entralgo, Antonio Cerdeira, Magaly Estrada, José Marín), quienes se incorporaron a la EF gracias a la gestión muy activa

de su director, Hugo Pérez, ya que la demanda de profesionales por otras instituciones era muy alta. Durante este lustro continuaron incorporándose al claustro físicos cubanos que habían realizado estudios en la URSS (Pedro Díaz, Andrés Martell) y en EE.UU (Elena Vigil) y una parte de los nuevos licenciados graduados por la propia EF (Melquiades de Dios, Miguel Ramos, Luisa Noa, Joaquín Torres, Luis Hernández, Luis Falcón, José Matutes, Mario Brizuela). En 1968 se produjo un cambio de dirección que fue asumida temporalmente por la Decana de la Facultad de Ciencias Ruth Daisy Henríquez y a continuación por el Ingeniero Heliodoro Medina, graduado en Checoslovaquia. Se designaron dos sub directores: docente (Elías Entralgo) y de investigación (Daniel Stolik).

En su conjunto, estos jóvenes fueron los pioneros de la EF en su versión actual y produjeron un cambio cualitativo. No obstante algunas contradicciones (en la universidad, particularmente entre los estudiantes, coexistían distintas propuestas, algunas obviamente distintas del sistema soviético), se introdujo un plan de estudios inspirado en el ciclo básico de la Universidad de Moscú y un riguroso reglamento docente. Cuatro de los diez graduados del curso 1966–1967 defendieron ante un tribunal una tesis de Diploma, lo cual significó un primer paso de incorporación de la investigación a la docencia de pregrado, que lamentablemente no pudo ser consolidado hasta varios años después [Estado, 1976]. La incipiente actividad de investigación no era suficiente para dar participación al creciente número de alumnos, que pasó de apenas 100 en 1965 a más de 400 en 1970. Además, muchos estudiantes tenían que impartir docencia en la Universidad o fuera de ella.

Paulatinamente, el peso de la actividad docente fue pasando a los cubanos graduados, mientras los estudiantes, realizaban actividades de apoyo (clases prácticas, laboratorios). Finalmente, en 1970 se produjo la primera graduación masiva de 67 Licenciados en Física. Veinte de ellos, se incorporaron como profesores de la EF, algunos de los cuales continúan desarrollando una meritoria labor después de casi 40 años (Manuel Hernández Calviño, Félix Martínez, Esperanza Purón, Carlos Rodríguez, Carlos Trallero y Julio Vidal). El claustro de la EF alcanzó así su estabilidad definitiva. Por primera vez fue posible cubrir todas las actividades docentes fundamentales con graduados (el movimiento de alumnos ayudantes continuó, pero ahora con un sentido más bien educativo) y fue posible dedicar una parte importante del fondo de tiempo a la investigación y la superación posgraduada del joven colectivo. Este colectivo también asumía la responsabilidad de impartir los cursos de Física en las demás carreras de la Facultad de Ciencias y las prácticas de laboratorio de los estudiantes

de Ciencias Agropecuarias. Además, se destinaron decenas de graduados a otras facultades de la UH, universidades, centros de investigación y otras instituciones, que recibieron una fuerte inyección de jóvenes físicos con una buena preparación.

En 1967 la EF se mudó al edificio de la Escuela de Ingenieros y Arquitectos, el mayor del recinto universitario, que dejó libre la Facultad de Tecnología al trasladarse a la CUJAE. Esto proporcionó un amplio espacio para el crecimiento de los talleres y laboratorios. Se realizó una importante inversión, que dirigió la profesora Magaly Estrada, y al final de esa década se habían construido y equipado 10 laboratorios docentes. Se desarrollaron además los talleres de Electrónica, Mecánica y Vidrio, que incrementaron notablemente la capacidad de fabricar equipos para la docencia y la investigación. Se crearon también los primeros laboratorios de investigación (ver más adelante). Acompañó este desarrollo un significativo incremento del número de obreros calificados y técnicos en los laboratorios y talleres.

Con estos elementos, puede afirmarse que en 1970 ya se había logrado estabilizar a un buen nivel los estudios de Licenciatura en Física en la EF de la UH. Aunque aún quedaba mucho por avanzar, se contaba con una matrícula de unos 400 estudiantes, que estudiaban gratuitamente, muchos de ellos con becas u otras formas de apoyo económico, un plan de estudios que seguía los patrones internacionales más avanzados, una base material de excelentes libros de texto y laboratorios docentes adecuados, así como un claustro de más de 50 licenciados, aún muy joven e inexperto, pero bien preparado para ejercer la docencia de pregrado y que enfrentaba con gran entusiasmo y dedicación los nuevos desafíos de la investigación y el postgrado.

## **2.2. El despegue de la investigación en Física del Estado Sólido en la EF de la UH**

A lo largo de los años sesenta tuvo lugar un amplio debate, en el que participaban profesores y estudiantes, sobre la elección de las líneas de investigación más adecuadas. Se confrontaron ideas muy distintas, que expresaban diferentes tendencias y gustos. Algunos preferían dejar amplia libertad de elección personal. Por otro lado, el desarrollo del país planteaba problemas y era lógico concentrar los limitados recursos en aquellas ramas de investigación que tuviesen mayor relación con esos problemas y pudiesen ayudar en su solución. Aunque no existían directivas precisas del gobierno al respecto, las autoridades universitarias y la dirección del país promovían, demandaban y de hecho, participaban en esa búsqueda. Desde su posición de Ministro de Industrias, el Ché había expresado que la Electrónica del Estado Sólido jugaría un papel cada vez más importante y que en esa área Cuba podría hacer una contribución original

al campo socialista. Por otra parte, la solución a largo plazo de los problemas energéticos del país se vinculaba entonces con el uso pacífico de la energía nuclear. De hecho, las investigaciones en la EF se iniciaron básicamente en dos departamentos creados a mediados de la década: Física Nuclear y Física del Estado Sólido. Como se verá más adelante, otras instituciones emprendieron el desarrollo de otras ramas de la Física.

La elección no se produjo de repente, más bien maduró hacia el final de esta década. Hubo numerosos intercambios de profesores de la EF con especialistas y directivos de las industrias nacionales, así como con visitantes e instituciones extranjeras. Dos acontecimientos influyeron particularmente en la decisión final. Por una parte, en el Primer Congreso Cultural de La Habana, realizado en 1968, participaron varios profesores de la EF, junto a prestigiosos científicos extranjeros, entre ellos los físicos italianos Roberto Fieschi, Daniele Amati y Bruno Vitale, el francés Jean Pierre Vigier y el soviético B.P. Konstantinov, ahora vicepresidente de la Academia de Ciencias de la URSS. En el congreso se redactó un documento sobre la importancia de desarrollar la Física en Cuba, donde se recomendaba impulsar la Física del Estado Sólido y se expresaba la disposición de apoyar este desarrollo. Por otra parte, la inauguración en enero de 1969, con la presencia de Fidel Castro y otros líderes, de un Instituto de Física Nuclear (IFN) en la ACC, fue recibida en la EF como una fuerte señal de que los recursos para desarrollar este campo serían asignados a otras instituciones.

Como resultado, se decidió concentrar las actividades de investigación y postgrado de la EF en la Física del Estado Sólido, con vistas a apoyar el futuro desarrollo nacional de las industrias electrónica, metalúrgica y química. Algunas de las personas que trabajaban en el departamento de Física Nuclear reorientaron sus investigaciones hacia técnicas muy usadas en la Física del Estado Sólido, como la espectroscopia Mossbauer y la Resonancia Magnética Nuclear, entre otras.

Como se señaló anteriormente, la visita de T. Veltfort y Dina Waisman al Instituto “Ioffé” no se tradujo en una colaboración inmediata y las actividades de investigación en Estado Sólido se habían iniciado en la EF de forma autónoma. Veltfort adquirió un horno de radiofrecuencias, que permitía el crecimiento de materiales semiconductores. Otros equipos y materiales fueron adquiridos con muchas dificultades, o llegaron al país por la vía de los propios profesores extranjeros y los cubanos que salían al exterior. También se fomentaba la construcción de equipos por un grupo de desarrollo en la propia EF [Alamino, 2005]. Se

completaron los Talleres de Electrónica, Vidrio y Mecánica. Se logró así equipar en la EF un laboratorio de semiconductores, que desarrolló las primeras actividades de investigación en esta rama. Se obtuvieron y caracterizaron monocristales de germanio y, años después, de silicio. Al horno de crecimiento de cristales se añadieron una cámara de vacío Zeiss, de la RDA y un acondicionador de aire de 200 kW [véanse la memoria de Veltfort, y la reconstrucción por Elena Vigil, en esta monografía]. Superando otros obstáculos se logró en fin:

activar el horno de crecimiento de cristales y crecer un cristal de germanio eléctricamente puro, pero de una hoja de éste realizar un diodo de germanio [Crespo, 1968]: esta pequeña pieza, humilde y primitiva, fue el primer dispositivo semiconductor nunca antes realizado en otro país de América Latina con capacidades y facilidades locales, o sea, sin importar una planta de producción completamente montada [Veltfort, 1998].

A lo largo de los años sesenta tuvo lugar un amplio debate, en el que participaban profesores y estudiantes, sobre la elección de las líneas de investigación más adecuadas. Se confrontaron ideas muy distintas, que expresaban diferentes tendencias y gustos. Algunos preferían dejar amplia libertad de elección personal. Por otro lado, el desarrollo del país planteaba problemas y era lógico concentrar los limitados recursos en aquellas ramas de investigación que tuviesen mayor relación con esos problemas y pudiesen ayudar en su solución. Aunque no existían directivas precisas del gobierno al respecto, las autoridades universitarias y la dirección del país promovían, demandaban y de hecho, participaban en esa búsqueda. Desde su posición de Ministro de Industrias, el Ché había expresado que la Electrónica del Estado Sólido jugaría un papel cada vez más importante y que en esa área Cuba podría hacer una contribución original al campo socialista. Por otra parte, la solución a largo plazo de los problemas energéticos del país se vinculaba entonces con el uso pacífico de la energía nuclear. De hecho, las investigaciones en la EF se iniciaron básicamente en dos departamentos creados a mediados de la década: Física Nuclear y Física del Estado Sólido. Como se verá más adelante, otras instituciones emprendieron el desarrollo de otras ramas de la Física.

La elección no se produjo de repente, más bien maduró hacia el final de esta década. Hubo numerosos intercambios de profesores de la EF con especialistas y directivos de las industrias nacionales, así como con visitantes e instituciones extranjeras. Dos acontecimientos influyeron particularmente en la decisión final. Por una parte, en el Primer Congreso Cultural de La Habana, realizado en 1968, participaron varios profesores de la EF, junto a prestigiosos científicos extranjeros, entre ellos los físicos italianos Roberto Fieschi, Daniele Amati y

Bruno Vitale, el francés Jean Pierre Vigier y el soviético B.P. Konstantinov, ahora vicepresidente de la Academia de Ciencias de la URSS. En el congreso se redactó un documento sobre la importancia de desarrollar la Física en Cuba, donde se recomendaba impulsar la Física del Estado Sólido y se expresaba la disposición de apoyar este desarrollo. Por otra parte, la inauguración en enero de 1969, con la presencia de Fidel Castro y otros líderes, de un Instituto de Física Nuclear (IFN) en la ACC, fue recibida en la EF como una fuerte señal de que los recursos para desarrollar este campo serían asignados a otras instituciones.

Como resultado, se decidió concentrar las actividades de investigación y postgrado de la EF en la Física del Estado Sólido, con vistas a apoyar el futuro desarrollo nacional de las industrias electrónica, metalúrgica y química. Algunas de las personas que trabajaban en el departamento de Física Nuclear reorientaron sus investigaciones hacia técnicas muy usadas en la Física del Estado Sólido, como la espectroscopia Mossbauer y la Resonancia Magnética Nuclear, entre otras.

Como se señaló anteriormente, la visita de T. Veltfort y Dina Waisman al Instituto “Ioffé” no se tradujo en una colaboración inmediata y las actividades de investigación en Estado Sólido se habían iniciado en la EF de forma autónoma. Veltfort adquirió un horno de radiofrecuencias, que permitía el crecimiento de materiales semiconductores. Otros equipos y materiales fueron adquiridos con muchas dificultades, o llegaron al país por la vía de los propios profesores extranjeros y los cubanos que salían al exterior. También se fomentaba la construcción de equipos por un grupo de desarrollo en la propia EF [Alamino, 2005]. Se completaron los Talleres de Electrónica, Vidrio y Mecánica. Se logró así equipar en la EF un laboratorio de semiconductores, que desarrolló las primeras actividades de investigación en esta rama. Se obtuvieron y caracterizaron monocristales de germanio y, años después, de silicio. Al horno de crecimiento de cristales se añadieron una cámara de vacío Zeiss, de la RDA y un acondicionador de aire de 200 kW [véanse la memoria de Veltfort, y la reconstrucción por Elena Vigil, en esta monografía]. Superando otros obstáculos se logró en fin:

activar el horno de crecimiento de cristales y crecer un cristal de germanio eléctricamente puro, pero de una hoja de éste realizar un diodo de germanio [Crespo, 1968]: esta pequeña pieza, humilde y primitiva, fue el primer dispositivo semiconductor nunca antes realizado en

otro país de América Latina con capacidades y facilidades locales, o sea, sin importar una planta de producción completamente montada [Veltfort, 1998].

En el año 1968 Veltfort y D. Waisman regresaron definitivamente a sus respectivos países de origen. La línea de investigación en semiconductores fue proseguida por cubanos recién graduados. En una primera fase se siguió desarrollando la misma técnica del germanio. Se creó el Grupo de Semiconductores, cuyo objetivo era obtener monocristales de germanio, fabricar dispositivos semiconductores (diodos y transistores) y obtener capas delgadas semiconductoras para diferentes aplicaciones. El Vicerrector de Investigaciones de la UH, Ing. Marcos Lage, promovió la fabricación de diodos y transistores de aleación, inspirándose en el modelo de la Universidad de Pekín, donde la Facultad de Física tenía adjunta una fábrica de dispositivos. Esta actividad era apoyada por el Ministerio de Comunicaciones. Prácticamente todo el equipamiento necesario para la fabricación y prueba de los dispositivos de germanio por aleación se construyó en la propia EF. En 1969 se logró crecer monocristales de germanio y se fabricaron diodos y transistores de aleación con características eléctricas adecuadas.<sup>8</sup>

El año 1969 fue de importancia crucial, ya que el intercambio con los especialistas franceses en las Escuelas de Verano determinó el cambio en la dirección de investigación del grupo, introduciendo en Cuba la tecnología planar de silicio, en lugar del germanio. Los trabajos para llevar adelante este nuevo objetivo empezaron inmediatamente, con la creación en 1970 al lado de la EF del Laboratorio de Tecnología Planar (LTP). Para impulsar las actividades se decidió formar dos Grupos de investigación, uno de Dispositivos Semiconductores (GDS), dedicado a los dispositivos, y otro de Semiconductores, más dedicado a los materiales. Había también un grupo de capas delgadas y un grupo de mediciones. La idea era realizar el ciclo completo, desde el material hasta al dispositivo. Si en la rama de los dispositivos fue determinante la influencia de los físicos franceses, en la de los materiales ayudaron mucho los soviéticos: en 1969–1970 visitaron la EF dos soviéticos, Valentina Ostroborodova y Vladimir Dik, ayudando en poner a punto el sistema de crecimiento.

Las facilidades de trabajo del LTP se realizaron en gran parte en la propia EF, empezando por los hornos de alta temperatura que se fabricaron integralmente, incluyendo la electrónica de

---

<sup>8</sup> Como nota curiosa puede señalarse que para la fabricación de las primeras máscaras se utilizó una cámara copiadora de sellos donada por el Ministerio de Comunicaciones, la misma que había sido utilizada para reproducir el sello que contenía el texto de la Primera Declaración de La Habana [Arias, 1997].

control y una alineadora muy primitiva. Se efectuó una visita a Francia para adquirir información técnica (se copió el control de un horno de la Honeywell). Los monocristales fueron crecidos en La Habana. Seguiremos los desarrollos de la electrónica.

Con el fin de encontrar la forma de organización más adecuada, se estudiaron estructuras de varios laboratorios extranjeros, de Francia, Italia, y la URSS. En 1969 se introdujo en la EF un cambio importante, suprimiendo la estructura departamental precedente e introduciendo una doble organización, que difería de todas las de Educación Superior en Cuba, de Grupos de Investigación y Secciones Docentes, con dos Subdirectores distintos: se logró así dar el impulso que requería la investigación, sin descuidar la actividad docente.

Se formaron Grupos de Investigación de Semiconductores, de Dispositivos Semiconductores, de Metales, de Cristales, de Magnetismo y de Microondas (que duró poco tiempo). La creación del Grupo de Física Teórica tardó, porque se quería priorizar la investigación experimental y aplicada, articulada con las necesidades del desarrollo nacional, y evitar el crecimiento desproporcionado del número de físicos teóricos, que se apreciaba en algunos países de América Latina.

Estos esfuerzos sentaron las bases para que, a la mitad de los setenta se contase ya con un fuerte centro de investigación y docencia en la Física, con un fuerte perfil aplicado, pero con buenas bases teóricas: era uno de los centros prominentes en América Latina y tenía una trayectoria ascendente.

### **2.3. La colaboración internacional**

Hacia finales de la década de los sesenta, la docencia de pregrado quedó en manos de los profesores cubanos, mientras que los colaboradores extranjeros se dedicaron cada vez más al postgrado y la investigación, en estancias cada vez más cortas. En 1968 regresaron a sus respectivos países C. Monet, T. Velfort, D. Waisman y el ya mencionado físico soviético V. Grishin, que trabajó en la EF junto a su esposa de 1965 a 1968 y fue Jefe del Departamento de Física Nuclear.

En 1967 una delegación de físicos de la EF visitó la Universidad de Moscú:

Esta última gestión fructificó en un incremento de la colaboración entre la Facultad de Física de la Universidad de Moscú y la de La Habana, así profesores de la primera comenzaron a visitar regularmente la Escuela de Física, y profesores de ésta comenzaron a viajar a Moscú para tomar cursos de superación y realizar aspiranturas. [Estado, 1976]

En el mismo año visitó la EF una delegación de profesores de la Universidad “M. V. Lomonosov” de Moscú (Kochanov, Kolesnikov, Ostrovorodova, Ponomarenkov, Smirnov, Solustsev, Sontsev, G. y M. Strukov, Timushev, Valdanov, Zhipopitsev), contribuyendo a reforzar el trabajo docente [Estado, 1976].

Es a partir de 1969 que se sistematizaron las estancias de hasta 18 meses, para la especialización y el entrenamiento de jóvenes profesores de la EF en la Facultad de Física de la Universidad de Moscú. Como parte de este intercambio profesores de esa universidad visitaban la EF para impartir cursos de postgrado y ayudar en las investigaciones. La mayoría venía por periodos cortos, aunque en algunos casos como el ya mencionado de V. Dik y N. Ostrovorodova, se extendió durante un año.

Además, siguieron visitando la EF varios físicos “occidentales”. Entre ellos, merece una mención particular el físico italiano Andrea Levioldi<sup>9</sup> [Waisman, 1968, y Fieschi, ambos en esta monografía]: profesor de la Universidad de Parma. Aunque enfermo de cáncer, llegó a La Habana el 5 de noviembre de 1968, con el propósito de establecer una colaboración estable, y allí falleció el 8 de diciembre, mientras seguía impartiendo un curso de postgrado de Física del Estado Sólido [Levioldi, 1968; véase el recuerdo por Fieschi en esta monografía] e intentaba organizar las investigaciones en este campo. Levioldi tenía el proyecto ambicioso de establecer una colaboración a largo plazo entre las Universidades de La Habana y de Parma<sup>10</sup>, que no pudo desarrollarse por causa de su fallecimiento. En el mes en que pudo desarrollar su actividad, Levioldi envió notas a sus colegas en Parma para que enviaran a Cuba aparatos y materiales que hacían falta. Después de su fallecimiento, sus colegas de Parma promovieron una “Beca Levioldi” y desde entonces decenas de físicos cubanos han podido superarse en aquella Universidad y el MASPEC, con una colaboración muy fructífera que aún continúa. [Leccabue, en esta monografía]: es notable subrayar que la preparación de los físicos cubanos

---

<sup>9</sup> La señora V. Kleiber, viuda de Levioldi, nos ha proporcionado documentos sobre la vida y la actividad del Dr. A. Levioldi. En 1938 Levioldi había emigrado por motivos políticos a Francia, colaborando activamente con la Resistencia antifascista italiana, y trabajando con Joliot Curie y Bruno Pontecorvo en laboratorios subterráneos para fabricar explosivos contra las hordas nazis. En el año 1941 emigró a Argentina, donde participó activamente a los acontecimientos políticos, siendo expulsado y regresando con los cambios del régimen. En 1960 asistió al Congreso por la Autodeterminación y la Soberanía de los Pueblos en México y de ahí pasó a visitar a Cuba: a su regreso a Argentina preparó prácticas de Física para enviar a Cuba (lo que al fin no pudo realizar). En 1961 se enfermó de cáncer y regresó a Italia, siguiendo en el trabajo y participando activamente en los acontecimientos políticos (participó en todas las actividades en respaldo a Viet Nam, y se unió a las luchas estudiantiles). Cuando recibió la invitación para venir a Cuba, se emocionó profundamente y ni las razones de los médicos y los familiares detuvieron su propósito.

<sup>10</sup> Carta manuscrita de A. Levioldi (14 de noviembre de 1968), proporcionada por la Sra. V. Kleiber.

que desde 1968 visitaron Parma ya resultaba buena y les permitió incorporarse en la investigación. En 1969 se firmó también un acuerdo de colaboración con Orsay.

En 1970 se produjo la primera participación cubana en un evento latinoamericano de Física: el II Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido, celebrado en San Carlos de Bariloche, Argentina. Allí se retomaron los vínculos con el CLAF, del cual Cuba era miembro desde su fundación en 1982, integrando Daniel Stolik (junto al chileno Miguel Kiwi, el brasileño Sergio Mascareñas, el argentino Antonio Missetich y los mejicanos Edmundo de Alba, primero y Feliciano Sánchez después) su “Comisión para el Desarrollo de la Física del Estado Sólido en América Latina”. Se inició así una fructífera relación que resistió todos los intentos de aislar a Cuba del resto de los países de América Latina. El CLAF ha sido durante cuatro décadas una vía efectiva para vincular a los físicos cubanos con sus colegas latinoamericanos.

#### **2.4. Las Escuelas de Verano (1968–1973)**

En el ya mencionado Congreso Cultural de La Habana se acordó también realizar Escuelas de Verano con profesores extranjeros de Física, Química, Biología y otras áreas. Estas Escuelas, desarrolladas entre 1968 y 1972, fueron un fenómeno masivo y jugaron un papel muy importante en la formación y actualización de los científicos cubanos y en el desarrollo de un espíritu de investigación. Se impartieron cursos en todas las ramas universitarias. Participaron cientos de profesores de muchos países (172 en 1970), y miles de estudiantes cubanos (Tabla 1).

<b>Año</b>	<b>Cursos</b>	<b>Profesores</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Instituciones cubanas</b>
1968	15	12	138	*
1969	24	129	471	*
1970	57	172	1182	38
1971	52	152	1357	40
1972	45	88	1118	54

\* No existen datos

**Tabla 1:** Resultados de los Cursos de Verano 1968–72 [VIDA, 1970].

En los Cursos de Verano de 1972

88 profesores de 15 Países impartieron 45 cursos de 4 a 6 semanas de duración a 865 alumnos efectivos procedentes de 54 instituciones de producción, investigación y desarrollo. 910 de los 1118 matriculados inicialmente tienen menos de 40 años, y de éstos 603 no llegan a 30 los cursos están satisfaciendo necesidades reales de la economía y el desarrollo nuestro más del 41 % de los matriculados corresponde a cuadros profesionales de nuestros centros universitarios, lo que supone la elevación del nivel de los conocimientos que se imparten en nuestras aulas y, por ende, la reproducción mediata de los beneficios que representan. Después de 1970, además, se ha estado haciendo llegar una mayor y más detallada información sobre los contenidos teóricos de los Cursos de Verano a las distintas instituciones que pueden interesarse por ellos en 1970, de los 1182 matriculados iniciales, sólo 401 (el 31 %) representaban a otras instituciones que no fueran nuestros centros universitarios, mientras en 1972 el número de los representantes de esas instituciones en la matrícula inicial asciende a 655 (el 58 %), de los cuales, significativamente, más de un 10 % pertenecen a la industria azucarera. [UNIVERSIDAD, 1972]

En cuanto a los cursos de Física en las Escuelas de Verano, los franceses dictaron cursos avanzados, Vigier tenía el proyecto de crear un centro de investigación avanzada de Matemática y Física Teórica; los italianos, en 1970 y 1971, proponían promover la enseñanza básica. Los cursos de los físicos franceses (C. Weisbuch, G. Lampel, J. M. Debever, B. Cocqblin, J. Cernagora, J F. Jaquinot, J. Pollard, J.P. Pinceaux, J. P. Cervan, D. Bois, entre otros) abarcaron principalmente la electrónica y los semiconductores. Las Escuelas de Verano fueron sumamente provechosas para el desarrollo de la Física del Estado Sólido en la EF, tanto por los cursos teóricos que se impartieron como por los laboratorios que se montaron con equipos y materiales traídos y donados por los profesores.

## **2.5. El despegue de la Física en la Universidad de Oriente**

En 1970 se graduaron los primeros físicos en la UO en Santiago de Cuba. La historia de la UO será tratada en detalles en esta monografía por Méndez. Recordemos los acontecimientos principales con el fin de integrar el panorama general.

El desarrollo de la Física en la UO fue más lento que en la UH. La Escuela de Ciencias Básicas de la Facultad de Tecnología, creada en 1966 se enfrentaba con graves problemas para impartir los cursos de Física a un número creciente de estudiantes en las carreras de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias, Medicina y el Instituto Pedagógico. A través de contactos con la UH llegaron a la UO un físico nuclear soviético (Valeri Smirnov) y dos licenciados cubanos (Jorge González y Homero Fuentes), pero el verdadero problema era que no existía una carrera para formar físicos en Oriente. Surgió así en 1967 la idea de formar en la Facultad de Tecnología de la UO 20 “Ingenieros Físicos”, con perfil aplicado, en métodos físicos de

análisis, con tres especialidades: óptica y espectroscopia, física nuclear, física de los rayos X y metales [Estado, 1976]. El plan fue organizado por Valeri Smirnov, con la colaboración de colegas cubanos y de Johan Morake, de la Universidad Técnica de Dresde. Los estudiantes fueron seleccionados entre los mejores de las carreras de Ingeniería y Ciencias Químicas, para formarlos como físicos en un corto período de tiempo. Con la dedicación de profesores y alumnos, sin vacaciones ni periodo de receso, se adelantó la primera graduación de un año, concluyendo los ocho primeros en noviembre de 1970.

Este fue el primer paso en la gestación de la Escuela de Física en la UO, cuya idea nació en 1968, y su fundación en 1970, con los Departamentos de Física Nuclear, Óptica y Espectroscopia, Física de los Rayos X y Metales, Física General y Teórica, Física Electrónica. La estructuración de la EF y la primera y única graduación de Ingenieros Físicos delimitan una etapa histórica y el inicio de la siguiente, con el pleno desarrollo de la Física en la UO.

## **2.6. Desarrollo de otras actividades e instituciones**

En 1966 se creó en la ACC un Grupo de Energía Nuclear [Estado, 1976], que gestionó con la URSS la donación de equipos para la docencia y la investigación. En 1968 el Presidente Fidel Castro planteó la necesidad de desarrollar la energía nuclear en Cuba. Se definió el objetivo de crear en el país una base técnico científica para las actividades nucleares, que se expresó en la creación el 8 de enero de 1969 del Instituto de Física Nuclear (IFN) de la ACC en los locales de una antigua escuela militar en Managua. Un indicador de la alta prioridad concedida a este evento es que en la inauguración del IFN estuvieron presentes junto a Fidel y Raúl Castro, varios dirigentes cubanos de alto nivel y el vicepresidente del Consejo de Ministros de la Unión Soviética, Alexander Nóvikov. El Instituto fue equipado con materiales de laboratorio proporcionados por los soviéticos, incluyendo un reactor nuclear subcrítico. El IFN era dedicado principalmente a la formación y la actividad docente, proporcionando una especialización en física de reactores, espectroscopia nuclear y radioisótopos a los egresados de de las Escuelas de Física y de Química. Inicialmente el personal del Instituto era de 28 trabajadores entre graduados universitarios, técnicos medios y personal administrativo. Ya a partir de septiembre de 1968 se incorporaron 11 cubanos graduados y especializados en la Universidad Estatal de Moscú, que eran asesorados por especialistas soviéticos [Estado, 1976].

En el campo de la Astronomía y las Comunicaciones, en 1966 se inició el programa de colaboración internacional Intercosmos (Par. 1.4) con la participación de Cuba, donde se creó

una agencia nacional, bajo la dirección del Ministerio de Comunicaciones. Progresó la colaboración con el Observatorio de Púlkovo, Leningrado, en el campo de la Radioastronomía Solar. En 1967 se inauguró la estación de Rastreo de Satélites en el Cacahual, Santiago de las Vegas. En 1969 Cuba ingresó en la Unión Astronómica Internacional. Con relación a la aplicación de los satélites meteorológicos, Cuba recibió de la URSS una estación rastreadora y captó la primera foto en marzo de 1969 [Ortiz, 1987]. En 1970 especialistas soviéticos instalaron en Cuba mediante colaboración los primeros radiotelescopios, realizando la primera observación de un eclipse de Sol, y se creó el Instituto de Astronomía. En el mismo año 1970 un representante de Cuba asistió por primera vez a la XIV Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional en Londres.

Con la recordada creación del Instituto de Meteorología en 1964, comenzó a estructurarse una extensa red de estaciones meteorológicas en todo el País. Cuba participó desde 1964 en el grupo de trabajo permanente de Meteorología Cósmica [Ortiz, 1987]. Algunos de los primeros graduados de la EF (Rosendo Álvarez y Mario Álvarez Guerra) fueron pioneros del desarrollo de la Meteorología y la formación masiva de meteorólogos en esa etapa.

En 1967 nació en la ACC un pequeño Grupo de Trabajo de Electrónica, que se dedicó esencialmente a crear una base material de trabajo, elevar el nivel de conocimientos de los miembros del colectivo, y establecer los contactos iniciales, especialmente con los Países Socialistas, realizando también trabajos de investigación, cuyos resultados se publicaban principalmente, entre 1967 y 1975, en la revista Comunicaciones.

En el año 1967 fue fundado el Instituto Técnico Militar (ITM), primer centro de educación superior de las Fuerzas Armadas Revolucionarias Cubanas. Al crearse allí las carreras de ingeniería, varios físicos graduados en la EF entre 1967 y 1970 (Carlos Álvarez, Ramón Buergo, José Matos, Domingo Jacob, Mercedes Carnero, Juan Monzón, Edwin Pedrero, Gudelia Ortega y Miguel Angel García) se incorporaron como profesores y desarrollaron la Cátedra de Física de ese centro. Varios asesores soviéticos visitaron el ITM, y ayudaron a ese propósito, impartiendo cursos y organizando seminarios. También allí se desarrolló una discusión fuerte sobre la elección de una línea de investigación. La decisión fue la Radiofísica Cuántica y el Láser, y el primer resultado significativo fue la fabricación del primer láser de CO<sub>2</sub> diseñado y construido en Cuba. Posteriormente, se iniciaron también trabajos en el campo de la holografía y las comunicaciones ópticas. En los setenta esta cátedra llegaría a contar con más de 20 físicos graduados y se haría fuerte en las aplicaciones del láser y en

metodología de la enseñanza de la Física, realizando también una notable contribución al desarrollo de cátedras de Física en otros centros de enseñanza militar cubanos.

## **2.7. El CNIC**

Una mención particular la merece el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), una institución fundamental para el desarrollo de la Ciencia en Cuba, creado en 1965 por resolución Presidencial, para los fines y funciones siguientes [Memoria Anuario, 1976–77]:

- a) realizar investigaciones científicas en el campo de las ciencias naturales, biomédicas, tecnológicas y agropecuarias que redunden en beneficio del interés nacional;
- b) organizar y desarrollar la formación científica posgraduada en las distintas ramas en que desarrollaba sus actividades;
- c) atender cualquier actividad científica, tanto del orden nacional como internacional, que se considere necesaria para el logro de sus fines.

Después de su creación, el CNIC fue incorporado a la UH, aunque manteniendo personalidad jurídica y económica propia, una amplia autonomía y apoyo directo del Gobierno. Este vínculo universitario favoreció la realización de sus actividades y en especial el trabajo conjunto con diferentes áreas universitarias, tanto en lo que se refiere a la investigación como a la formación de pre y postgrado. Para lograr el objetivo básico de formar especialistas de alto nivel científico, se hizo una considerable inversión inicial en equipos (en 1965 se adquirió el primer microscopio electrónico en el país) y se trajeron especialistas del extranjero, principalmente químicos, de la RDA (también contactos con personalidades de la RFA), de la URSS, de España y Estados Unidos (en el sector de neurociencias). El CNIC estableció numerosas colaboraciones y convenios internacionales, entre otros con [Memoria Anuario, 1976–77] el Ministerio de Ciencias, Educación Superior y Técnica de Polonia, el Combinado Químico Militar de RDA, el Instituto de Química Física de la Academia de Ciencias de la URSS, la Universidad M. V. Lomonosov de Moscú, el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS) de Francia.

Inicialmente las actividades de investigación del CNIC se concentraron en Biología, Medicina, Química y en algunos problemas agrícolas, con la participación de físicos, matemáticos, médicos e ingenieros mecánicos, entre otros. El CNIC en su desarrollo llegó a ser el generador y gestor de otros importantes centros, como el Centro de Neurociencias, el

Centro Nacional de Salud Animal, el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología y el Centro de Inmunoensayos. A partir de un grupo reducido de trabajadores en 1965, el CNIC llegó a contar con 1285 trabajadores, entre ellos 320 profesionales, 304 técnicos y 167 estudiantes universitarios, incluyendo personal de otros organismos [Memoria Anuario, 1976–77].

La Física fue principalmente un complemento de apoyo. Inicialmente tres departamentos incorporaron técnicas físicas: Radioisótopos, Rayos X y Corrosión. Hubo físicos trabajando en difracción de rayos X, fluorescencia, microscopia electrónica, espectroscopia Mössbauer y algunos en el Departamento de Investigaciones Electrónicas.

En octubre de 1966 se creó en el CNIC el Laboratorio Radioisotópico Industrial (LRI), donde se desarrollaron técnicas nucleares de análisis y colaboraron. Entre 1965 y 1968 contaron con la asesoría de dos físicos soviéticos: Boris Bierjovski y Lev Medsel.

### **3. La consolidación del sistema científico cubano en los setenta**

En la primera mitad de los setenta, se defendieron en Cuba unas 50 maestrías en Física y salieron los primeros físicos cubanos a cursar estudios de doctorado en la URSS. A lo largo de la década se formaron unos 30 doctores.

Este decenio resultó decisivo para el desarrollo de la Física, y en general del sistema de investigación científico cubano. Los grandes esfuerzos de la década precedente habían logrado una estructura estable para la formación de licenciados en las principales ramas de la Ciencia, una masa crítica de graduados universitarios con buena preparación básica y fuerte vocación por la investigación, un conjunto de centros e instituciones científicas, algunos de carácter básico y otros especializados en ramas específicas, así como una amplia red de cooperación internacional. Aunque algunos de estos centros y vínculos internacionales se encontraban aún en estado embrionario, representaban un gran potencial. Estas actividades en su conjunto habían sido caracterizadas por un espíritu que podríamos llamar de pioneros, o romántico, marcado por el entusiasmo y la iniciativa, con el aporte activo de los estudiantes, supliendo la falta de recursos, o de preparación adecuada, con la fantasía y la confianza en el provecho y la necesidad para el futuro del país de alcanzar un desarrollo científico moderno.

La década de los setenta cosechó los frutos que se habían sembrado y, sobre todo en su segunda mitad, reorganizó el sistema científico cubano, incorporándolo a la planificación de las principales ramas de desarrollo económico y social. También incorporó varios elementos

de excelencia, como la creación de un sistema nacional de grados científicos y el crecimiento del número de sociedades, publicaciones y revistas científicas. Hacia el final de la década fue creada la Sociedad Cubana de Física.

En cuanto a la colaboración internacional, la cooperación con la Unión Soviética y los países socialistas europeos se estabilizó y desde la mitad de la década se hizo predominante. Se institucionalizaron las relaciones con las principales universidades estatales e institutos de la Academia de Ciencias de la URSS, destacándose las universidades “M. V. Lomonosov” de Moscú y “A. A. Zhdanov” de Leningrado, así como los Institutos “A. F. Ioffe” de Leningrado y “P. N. Lebedev” de Moscú. Estos vínculos sentaron las bases para que, los científicos cubanos lograran un creciente acceso a las instituciones de élite de la ciencia soviética. También se impulsó la colaboración con las academias de ciencias y universidades de otros países socialistas de Europa, en particular con la Universidad “A. v. Humboldt” de Berlín, la Universidad Técnica de Dresde y el Centro de Investigaciones Nucleares de Rossendorf en la RDA. En estas instituciones realizaron sus doctorados numerosos físicos cubanos, quienes a su regreso dieron un impulso decisivo a la investigación en diversas ramas de la Física. Sin embargo, Cuba nunca cortó sus intercambios científicos con países capitalistas. De hecho, en los setenta florecieron en el campo de la Física las relaciones con el Instituto “MASPEC” de Parma, la Universidad de Uppsala en Suecia y otras. La participación en eventos latinoamericanos, particularmente los simposios de Física del Estado Sólido (SLAFES) y las reuniones del CLAF se ampliaron. A partir de la celebración en La Habana del IV SLAFES, se fortalecieron los vínculos con varias universidades latinoamericanas, especialmente la UNAM y el IPN de México.

### **3.1. Consolidación y enlace del sistema de Educación Superior**

#### **3.1.1. La EF de la UH**

A partir de 1970 hubo en la EF de la UH un aumento del número de profesores, y se estabilizaron el plan de estudios y los laboratorios docentes, con todos los cursos impartidos por graduados. La organización de la Escuela en Grupos de Investigación y Secciones Docentes (Par. 2.2) dio sus frutos.

En 1972 se organizó un primer Seminario de Investigaciones de la Facultad de Ciencias y en 1974 el Primer Encuentro de Físicos Cubanos. La EF ya se había convertido en un centro de investigación y docencia en Física, quizás uno de los más fuertes en América Latina en aquel momento, con un perfil experimental y aplicado, pero sin descuidar las bases teóricas.

Continuaron saliendo cubanos a superarse al extranjero, la mayoría a la URSS y los países socialistas europeos, pero varios también a Italia (Parma) y Francia (Université de Paris Sud, Orsay). Es de destacar que todos los que se habían graduado en Cuba mostraron haber obtenido una sólida formación básica y tuvieron éxito en sus estudios de postgrado, realizados en centros de larga tradición y muy alto nivel. Se defendieron tesis de Maestría en Cuba: la primera, en el año 1972, fue la de Melquiades de Dios [véase su entrevista en esta Monografía]. En 1974 empezaron a regresar los primeros físicos que habían defendido tesis de doctorado en la URSS, e impulsaron ulteriormente las actividades de investigación.

Hay que subrayar que la actitud que había animado los científicos cubanos, entregada a resolver problemas y promover el desarrollo del país, descuidaba la publicación de los resultados de investigación en revistas científicas, en particular internacionales.

Probablemente, se concedía más importancia al desarrollo de “know how”, infraestructura de investigación y aplicaciones, que a la publicación de resultados originales. Las primeras publicaciones científicas en revistas internacionales datan de 1975 [Castaño González, de Dios Leyva y Pérez Alvarez, 1975]. A lo largo de la década se publicaron algunos trabajos en la revista *Physica Status Solidi*, en revistas soviéticas y cubanas (Tabla 3).

En el año 1976 [Estado, 1976] se había creado un claustro de profesores de alto nivel científico para los estándares cubanos de la época, 42 de ellos con grado de especialistas (MSc) y 4 con el grado de candidatos en ciencias (doctores ó PhD, de acuerdo a la nomenclatura occidental), de un total de 76 miembros del personal docente. Una parte considerable de este colectivo se encontraba trabajando por su grado de doctor en Cuba ó en el extranjero. Se habían Licenciado en Física 337 estudiantes (Tabla 2); se había logrado la biblioteca más completa del país, de 14.000 volúmenes, con una considerable bibliografía de semiconductores, metales, plasmas y física nuclear [Estado, 1976, p. 54]. En lo referente a las revistas, la Hemeroteca de la Facultad de Ciencias de la UH tenía un buen surtido de los títulos más importantes, aunque muchas colecciones no eran completas, porque en el período 1961–66 no se habían recibido prácticamente revistas del área capitalista [Estado, 1976].

A pesar de estos valiosos resultados, un informe de 1976 señalaba que

todavía el plan de colaboración firmado con el Instituto “A. F. Ioffe” no ha podido ser aprovechado adecuadamente, a pesar del interés de ambas partes, y en la Escuela de Física, aunque el equipamiento existente permitió alcanzar un desarrollo inicial en la investigación y garantizar la docencia mínima de pregrado, en este momento se carece de una serie de equipos básicos e instrumentos, lo cual constituye un obstáculo para el desarrollo de los planes de investigación, de docencia postgraduada (incluyendo los planes de aspirantura),

así como en la enseñanza de algunas asignaturas de la Licenciatura a un nivel adecuado [Estado, 1976]

### **3.1.2. Otros Centros de Educación Superior**

**UO.** En 1970 se produjo la creación de la EF de la UO (Par. 2.5) y la primera y única graduación de Ingenieros Físicos. El claustro de la Escuela creció rápidamente con la incorporación de los primeros 19 graduados. Se definió un perfil de trabajo relacionado con los métodos físicos de análisis (véase para más detalles al estudio de L. Méndez en esta monografía). Hasta 1976 se habían graduado un total de 40 físicos y la matrícula en ese curso era de unos 50 alumnos repartidos en todos los años. Todos los graduados presentaron Tesis o Trabajos de Diploma, muchos de ellos en Física Nuclear. La EF de la UO fue pionera en la especialidad de Óptica y Espectroscopia en Cuba, formando los primeros especialistas graduados de ésta. También se alcanzó un cierto desarrollo en la de Física Nuclear y en la de Rayos X y Metales, en la filosofía experimental-aplicada propia de la Escuela.

Las investigaciones científicas se iniciaron con la asesoría de profesores de la Universidad de Leningrado (V. Smirnov, A. Petrov, V. Niementz, N. Panichev, M. Braun, L. Lavzovsky, entre otros) que realizaron visitas periódicas a la UO, y con estancias de miembros de la UO en las universidades de Leningrado, Técnica de Dresden, Estocolmo e Italia. Se priorizaron las investigaciones experimentales y aplicadas en Óptica y Espectroscopía, en conexión con la industria del Níquel, aunque la Física Nuclear también tomó auge. La creación de una asignatura de Física para Médicos inició una interesante actividad en Biofísica, que sería muy importante años después. En el curso 1976–77 regresan los primeros doctores graduados en el extranjero y se intensificó el intercambio básicamente con la RDA y la URSS.

Los 10 años siguientes marcaron el máximo desarrollo de la Física en la UO. Desde 1977, el entonces Departamento de Física Nuclear desarrolló un proyecto “Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional”, que fue aprobado por la Comisión Nacional para el Uso Pacífico de la Energía Atómica en 1979 y financiado por el PNUD. [PNUD, 1979].

**UCLV.** En 1970 se creó la Escuela de Física en la Universidad Central de Las Villas (UCLV) con una matrícula de 31 alumnos (19 de ellos en primer año y 12 en tercer año), procedentes de carreras de Ingeniería de la UCLV o estudiantes de origen villareño que habían comenzado sus estudios de Física en la UH [Estado, 1976]. El claustro se integró a partir de profesores de Física villareños (José Villar) y otros de la UH (Eudaldo Tarajano, Irma González). Varios

físicos de La Habana realizaron estancias para impartir cursos en la EF- UCLV. Hasta 1976 se habían graduado 12 licenciados, de los cuales 8 continuaron en la propia Escuela como personal docente. Se comenzó a desarrollar una línea de investigaciones en Física de Metales y se enviaron varios físicos a doctorarse a la URSS. En 1976 la Escuela fue cerrada, debido a su baja matrícula, quedando solo el Departamento de Física General, para brindar servicios docentes a otras carreras. Con los años, se creó un centro multidisciplinario de investigaciones en soldadura, donde los físicos especializados en Metales han tenido un aporte importante.

### **3.2. La investigación en Microelectrónica y su parábola**

El caso de las investigaciones en Microelectrónica merece un análisis particular, no solo por los resultados notables que se lograron en Cuba, sino por el significado que esta rama tuvo en los programas científicos de muchos países en desarrollo, en búsqueda de caminos para reducir el gap tecnológico. De hecho, la actividad en esta rama que se desarrolló en La Habana en la primera mitad de los setenta, representó probablemente el primer proyecto de investigación en un área de alta tecnología, con el ambicioso objetivo de desarrollar la producción a nivel industrial y hacer del país un líder en América Latina y en el mercado del Consejo de Ayuda Mutua Económica de los Países Socialistas (CAME).

Un factor determinante fue el intercambio de los físicos de la EF con los especialistas franceses en las Escuelas de Verano, que al final de los sesenta indujo el paso de la tecnología del Germanio a la del Silicio. En 1970 se creó en el Grupo de Dispositivos Semiconductores (GDS) de la EF el Laboratorio de Tecnología Planar (LTP). Se contó con cierto financiamiento de la dirección de la UH y materiales donados por los franceses. Una gran parte de los equipos del LTP se fabricó en los talleres de la EF.

Un hecho particular marcó el desarrollo y la forma de trabajo en la Microelectrónica desde su propio inicio. En 1969, casi al mismo tiempo en que se daban los primeros pasos en esta rama en la EF, se creó por la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Tecnología el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME), integrado por ingenieros, físicos y estudiantes de esa Escuela y del Ministerio de Comunicaciones. Los objetivos del CIME eran prácticamente idénticos a los del GDS [Arias, 1997]. La evaluación de esta decisión y de sus efectos no es fácil. Los investigadores de la EF no estaban de acuerdo con la creación de este centro en ese momento, porque se dividían los recursos, y entre ambos grupos surgió una gran rivalidad. Probablemente la competencia resultó también un incentivo. El Primer Ministro Fidel Castro visitó el CIME a comienzos de los setenta y asignó recursos para la adquisición

de un sistema completo de fabricación de circuitos integrados. En la primera mitad de los años setenta, tanto el CIME como el GDS contaban con laboratorios para fabricar y caracterizar los dispositivos. Las facilidades para hacer máscaras y encapsular dispositivos se concentraron en el CIME y se utilizaban por ambos grupos.

Estos esfuerzos se insertaban dentro de un marco más amplio, que era la Rama de la Electrónica, que bajo la atención del rector José Miyar y del vicerrector de investigaciones Marcos Lage, coordinaba y procuraba integrar los esfuerzos que se hacían por distintas áreas universitarias con el objetivo común de desarrollar la electrónica nacional. Se logró así una estrecha integración, que quizá hubiera sido impensable en otros países, con la participación de [Cerdeira A., nota escrita personal]:

- la Escuela de Química en los intentos de obtener el Silicio de grado electrónico a partir de arenas cubanas (arena). En esta dirección se avanzó poco y fue retomada a finales de los 80s en el marco de un proyecto del PNUD, también sin éxito.
- la EF, en particular el Grupo Dispositivos Semiconductores (GDS en los trabajos para el desarrollo y fabricación de circuitos integrados y otros dispositivos y otros grupos vinculados a la obtención y estudio de materiales para la electrónica;
- el CIME de la CUJAE, con iguales propósitos que el GDS;
- la Escuela de Matemáticas, en los trabajos para el desarrollo e introducción de software para las computadoras;
- el Centro de Desarrollo de Sistemas de la CUJAE, en los trabajos de desarrollo de sistemas de aplicación de las computadoras;
- el Centro de Investigaciones Digitales (CID), más tarde Instituto Central de Investigación Digital (ICID), que había desarrollado la primera computadora cubana y contaba con una Planta Piloto para el desarrollo y fabricación de minicomputadoras.
- la Dirección de Investigaciones Electrónicas del CNIC, que desarrollaba y fabricaba equipos electrónicos avanzados para diversas aplicaciones.

En la Microelectrónica, los resultados llegaron rápidamente y fueron relevantes [Cerdeira A., nota escrita; Arias 1997]. A partir del montaje en 1970 del LTP, se comenzaron a realizar dispositivos con creciente nivel de integración y características comerciales. En 1971 se realizaron transistores MOS canal P y circuitos integrados MOS, y en 1973 los primeros transistores MOS canal N y bipolares N-P-N, sobre substratos normales y sobre capas

epitaxiales crecidas en el propio laboratorio. En 1974, se fabricaron un circuito integrado MOS P, una celda solar de silicio, y transistores MOS canal P y N con compuerta de polisilicio, esta última depositada en equipos desarrollados en el propio LTP. En 1976 se realizaron circuitos integrados I<sup>2</sup>L y transistores bipolares sobre capas epitaxiales obtenidas en el LTP, y en 1977 las primeras celdas solares de silicio y el primer arreglo lógico programable (PLA), diseñado y construido totalmente en Cuba (que contenía 1100 componentes por pastilla en un dado de 2,5 x 2,5 mm<sup>2</sup>).

En el CIME también se alcanzaron importantes resultados y fue instalada la primera planta piloto de dispositivos semiconductores y circuitos integrados [Arias 1997]. En 1974 se inició una cooperación bilateral (Plan CUSO) con Canadá y se ofreció un curso de Maestría con prestigiosos profesores canadienses, en el que participaron varios especialistas del GDS - EF. En el mismo año el CIME realizó una cooperación con Bélgica en la obtención de transistores y circuitos integrados MOS P y MOS N con compuerta de silicio.

Los resultados se publicaron fundamentalmente en las Monografías de la Facultad de Ciencias, en los eventos nacionales y en las revistas de la Academia de Ciencias, y más tarde de la Sociedad Cubana de Física [primeras publicaciones científicas: [Estrada, 1972; Fornés, 1973]. En ningún momento se planteó en aquella época la publicación de trabajos en revistas internacionales [Cerdeira A., nota escrita]. Sin embargo, los estudios básicos que se realizaron en el curso de estas actividades produjeron varias tesis de maestría y de doctorado (las primeras defendidas en la URSS y las siguientes en Cuba).

En un tiempo muy breve los físicos cubanos habían logrado desarrollos propios en Microelectrónica de un elevado nivel en relación a América Latina e incluso a los países socialistas europeos, contando sólo con alguna ayuda material de los franceses y mucho antes que los vínculos con la URSS en esta rama hubiesen despegado realmente:

Sin embargo, la colaboración con el Instituto Ioffe no vio sus primeros resultados hasta 1973, con la visita de una misión, y el envío posterior de un especialista, y aún en el año 1976, a pesar de haberse suscrito un convenio de colaboración a través de la Academia de Ciencias, la colaboración no marchaba adecuadamente [Estado, 1976]

Un evento oficializó el ingreso de la Física Cubana en la élite de la Física del continente: la organización en la EF del IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido en enero de 1975, que constituyó el primer evento internacional de alta envergadura científica en la Física que se realizaba en Cuba. La EF presentó 20 trabajos del total de 26 de Cuba [Estado, 1976,]. Este encuentro dio concretamente la impresión de que Cuba había alcanzado un nivel

destacado en Física del Estado Sólido en América Latina, sólo superado por países de dimensiones y tradiciones incomparables como Argentina, Brasil y México.

En 1976 hubo un cambio institucional. El GDS de la UH se convirtió en una Unidad de Ciencia y Técnica y adoptó el nombre de Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido (LIEES). Poco después se decidió racionalizar los esfuerzos, unificando el desarrollo de los dispositivos en base a silicio en el CIME y continuando en el LIEES el desarrollo de la Optoelectrónica en base a compuestos semiconductores III–V. Sin embargo, la unificación en el CIME fue formal: pocos compañeros del LIEES pasaron al CIME y sólo por un corto tiempo. Algunos continuaron vinculados a la Microelectrónica en otros centros de investigación o pasaron a trabajar en la naciente industria, mientras que otros se reorientaron hacia otras actividades vinculadas también a la Electrónica.

Los físicos e ingenieros universitarios vinculados a la investigación en Microelectrónica participaron activamente en la proyección de una industria nacional de semiconductores. Se concibió el proyecto de comprar una planta de producción de dispositivos. Una comisión visitó varios países de Europa Occidental y al final se adquirió una fábrica a una firma española. Poco después, la firma española fue adquirida por una empresa norteamericana, que canceló los acuerdos con Cuba. Por ello, la fábrica se montó, pero nunca funcionó de acuerdo al proyecto original. Fue el inicio de la crisis del sector. En los años ochenta se realizó un notable esfuerzo de reconversión tecnológica, para que la fábrica trabajara con materias primas y tecnologías del CAME, al tiempo que se montó una segunda planta para fabricar circuitos híbridos, pero el derrumbe del Socialismo en Europa del Este interrumpió también estos proyectos.

A partir del año 1979 la actividad de investigación decayó considerablemente y la Microelectrónica cubana comenzó a quedarse atrás. Durante varios años no existió un adecuado apoyo nacional a la misma, hasta la creación en los ochentas del “Frente de la Electrónica” Las investigaciones continuaron hasta principios de la década de los noventa en el CIME y el ICID, pero nunca recuperaron las posiciones alcanzadas en los setenta.

Al final, todos estos esfuerzos y éxitos en el desarrollo de la Microelectrónica chocaron con una dificultad imprevisible y desembocaron en un fracaso, no sólo en Cuba, sino en la mayoría de los países que buscaron en esta rama una vía de progreso. El vertiginoso avance de la Microelectrónica de alta y muy alta integración, que demandaba colosales inversiones,

resultó inalcanzable para un país subdesarrollado con modestos recursos y bloqueado por los Estados Unidos.

Sin embargo, desde el punto de vista del avance de la Física en Cuba, los proyectos de desarrollo de la Microelectrónica dejaron una huella muy positiva, ya que constituyeron un estímulo en la búsqueda de la excelencia, contribuyeron a la formación de varias generaciones de físicos cubanos de alto nivel y permitieron la acumulación de experiencias sin precedentes en la historia de un país sin tradición científica. Algunas áreas de la Física del Estado Sólido que crecieron bajo el influjo del desarrollo de la Microelectrónica, siguen vitales y encuentran otras esferas de aplicación, por ejemplo, en el campo de la energía fotovoltaica.

Afortunadamente, otros esfuerzos cubanos en sectores de alta tecnología tuvieron éxito, como es el caso de la Biotecnología, que hoy constituye un sector creciente y altamente productivo de la industria cubana.

### **3.3. La Física Nuclear durante los setenta**

Hemos ilustrado (Par. 2.6) la creación en 1969 del Instituto de Física Nuclear (IFN) de la ACC. El personal del centro [Estado, 1976] pasó de los 28 trabajadores iniciales (entre graduados universitarios, técnicos medios y personal administrativo) a 82 en 1971, a 113 en 1972, distribuidos en seis Departamentos: Reactores Nucleares, Radioquímica, Dosimetría y Protección Radiológica, Ingeniería, Técnicas Nucleares de Investigación, y Administración.

Entre 1971 y 1973 se inició un proyecto de investigación para el análisis de activación neutrónica en metalurgia y otros campos (que fue apoyado por la Agencia Internacional de Energía Atómica), así como la construcción de un reactor subcrítico Uranio-Grafito. Se reportó la culminación en el período de 41 trabajos científico-técnicos y la defensa de 11 tesis de grado para el nivel de Maestro en Ciencias.

A principios de 1974 el centro pasó a llamarse Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ) y se organizó la Primera Jornada Científica del ININ, donde se presentaron 106 trabajos científicos de especialistas del centro y de otros organismos nacionales de ramas afines a la rama nuclear. Se defendieron 10 tesis para Maestro en Ciencias. En el ININ nació también un Grupo de Física Nuclear Teórica.

A pesar de la existencia de acuerdos de colaboración con el Comité Estatal de Energía Atómica de la URSS y con el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares (IUN, Dubna), en 1976 se lamentaban las serias dificultades que el ININ ha encontrado hasta aquí

debido a la carencia de recursos materiales, planteándose que con los planes de abastecimiento y el apoyo del PNUD el instituto pueda completar en gran medida el equipamiento básico para su desarrollo en el quinquenio [Estado, 1976].

El ININ contaba con una biblioteca especializada (en 1976, 3.000 obras monográficas y simposios, una colección de informes científicos y reportes técnicos de más de 40.000 títulos y varios miles de ejemplares de publicaciones periódicas), así como con instalaciones e instrumentos básicos: reactor subcrítico, detectores de neutrones y radiación gamma, instalaciones radioquímicas (que produjeron los primeros trabajos de empleo de radioisótopos), fuentes de radiación gamma, analizadores para las mediciones espectrométricas. Todos los instrumentos, detectores y fuentes radioactivas eran de procedencia soviética. Por su aporte al desarrollo posterior de la instrumentación científica en el país vale destacar el laboratorio de electrónica nuclear, dirigido por José L Díaz Morera, quien posteriormente fundó el Buró Especial para la Construcción de Instrumentos Científicos con Producción Adjunta (BECICPA, Par. 3.8).

Las áreas fundamentales de trabajo eran: cálculo de reactores nucleares, diseño de reactores VVER producidos en Europa Oriental (con el Colectivo Internacional de Hungría), espectrometría de neutrones donde se desarrollaron un espectrómetro de neutrones monocristal y un espectrómetro por tiempo de vuelo y un programa de Monte Carlo para la determinación de la eficiencia de centelleantes orgánicos (que fue solicitado por el Oak Ridge National Laboratory para su utilización) desarrollado por Víctor Fajer y Lilliam Álvarez, radioquímica, electrónica nuclear, espectroscopia Mössbauer, física de neutrones, análisis de minerales, agrofísica nuclear, espectrómetros de neutrones rápidos, métodos de medición absoluta de fuentes de neutrones. Los trabajos dentro de la Electrónica Nuclear produjeron un conjunto de instrumentos conocidos como la cadena nuclear, integrada por pre-amplificadores, contadores y fuentes de bajo y alto voltaje. Dentro de la Dosimetría se desarrollaron la dosimetría fílmica para el control individual y los dosímetros individuales Geiger-Müller, y se elaboraron los dosímetros y normas para el establecimiento de la protección radiológica en todas las instalaciones del Instituto y la evacuación de residuos radioactivos.

Las actividades en la física nuclear no se limitaron al IFN-ININ. En el CNIC (Par. 2.6, 3.9) se desarrollaron técnicas de análisis nuclear, y se fabricaron contadores, discriminadores, módulos nucleares de alto y bajo voltaje, instrumentos de prospección petrolera y, en el

Laboratorio Radioisotópico Industrial (LRI, Par. 2.6), técnicas nucleares de análisis y los primeros desarrollos autóctonos y aplicaciones en Cuba de instrumentos Nucleónicos (IN), basados en las propiedades características de las radiaciones ionizantes, que permiten realizar mediciones sin necesidad de contacto [Desdín, 2000].

El Instituto Oncológico instaló fuentes de radiación gamma de altas dosis para radioterapia (Par. 3.6), la dosimetría fílmica y los sistemas de protección radiológica. También el Centro de Investigaciones Energéticas del ISPJAE llevó a cabo investigaciones y formó especialistas en energética nuclear. En la UO se desarrolló la Física Nuclear aplicada (L. Méndez, en esta monografía).

En 1974 se había creado la Comisión Nacional para el Uso Pacífico de la Energía Atómica y en 1976 se firmó con la URSS un importante convenio intergubernamental, que incluía la construcción de una primera central electronuclear. También se produjo el ingreso de Cuba como país miembro del Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares (IUIN, Dubna) y varios físicos, químicos e ingenieros cubanos comenzaron a trabajar por largos períodos en ese centro. El desarrollo del ambicioso programa nuclear cubano condujo a una transformación y un crecimiento notable de la esfera nuclear en los años ochenta.

### **3.4. Las actividades en Geofísica, Astronomía y Meteorología en la ACC**

En el par. 2.6 hemos visto como nacieron y se institucionalizaron las primeras actividades en estas ramas. A partir de 1972 se hace énfasis en la elevación del rigor de las investigaciones y el nivel científico del personal dentro de la ACC. Se creó un Consejo Científico Superior y se impulsó el envío en forma masiva de personal a adquirir grados científicos en los países socialistas. Los físicos eran empleados en la ACC en los institutos de Física Nuclear, Meteorología, Física de la Atmósfera (años después se fundió con el de Meteorología), Geofísica, Astronomía y Electrónica [Memoria Anuario, 1973–74].

En 1972 el Departamento de Geofísica pasó a ser un Instituto, cuyas áreas fundamentales de investigación eran la Sismología, las relaciones Sol-Tierra, la propagación de ondas cortas de radio y otras áreas de aplicación de la Geofísica.

El Instituto de Astronomía inició en 1972 los trabajos en Astronomía Óptica con las observaciones fotográficas de las manchas solares y una colaboración con el Observatorio Astrofísico de Crimea, que permitió instalar en el Instituto un radiotelescopio solar. En 1973

una segunda expedición integrada por 15 radioastrónomos soviéticos observó desde Santiago de Cuba el eclipse parcial de Sol. [Historial, sin fecha]

En 1974 los Instituto de Geofísica y Astronomía se fusionaron, creándose el actual Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), que tenía 130 trabajadores. Las líneas fundamentales de investigación eran [Historial, sin fecha] el estudio del Sol, la magnetosfera y la ionosfera, los procesos físicos endógenos y la estructura profunda del archipiélago cubano. Estas investigaciones estaban vinculadas a la economía del país, con los objetivos de mejorar las comunicaciones, determinar riesgos sísmicos, elaborar mapas magnéticos y gravimétricos, etc. Hasta 1990 el Instituto mantuvo una estrecha relación con las instituciones del campo socialista, lo que permitió la instalación de las estaciones de registro Faraday, telemétrica para la recepción de satélites, de sondeo inclinado de la ionosfera, de rastreo de satélites, un transmisor de ondas cortas y un analizador espectral, entre otras facilidades experimentales.

En 1977 especialistas del Observatorio Astronómico de Púlkovo instalaron en el Cacahual un telescopio solar horizontal con un espectrógrafo acoplado [Doval, 1991], y entró en operación en la Estación de Rastreo de Satélites de “El Salado” un radar láser “Kriptón” de primera generación con la colaboración del Consejo Astronómico de la URSS y del programa Intercosmos.

Un hecho relevante impulsó el desarrollo de la Meteorología, cuando en 1970 la Organización Meteorológica Mundial aprobó una solicitud para la ejecución de un proyecto de extensión y mejoramiento del Servicio Meteorológico en Cuba a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) [Ortiz, 1987]: se establecieron nuevas estaciones de radares de largo alcance, estaciones sinópticas, climatológicas y de agrometeorología, que contaban con equipos de alta calidad. Se crearon nuevos departamentos y se desarrollaron nuevos estudios, con la asesoría de especialistas soviéticos y de los demás países del campo socialista.

Con relación a la aplicación de los satélites meteorológicos, en 1974 se utilizaron los satélites de la serie NOAA, quienes brindaban imágenes en el espectro visible e infrarrojo que permitían obtener una visión de los fenómenos atmosféricos, con sus áreas nubosas [Ortiz, 1987]: este último equipo rastreador fue donado a Cuba por la RDA.

### **3.5. Desarrollos en Ingeniería: la óptica**

En la década de los setenta la enseñanza de la física en el Departamento de Ciencias Básicas de la Facultad de Tecnología de la UH, en la sede de la CUJAE (Par. 1.4), evolucionó notablemente. Había en Cuba alrededor de 10.000 estudiantes de ingeniería, fundamentalmente en la Ciudad Universitaria “José Antonio Echevarría” (CUJAE). Aquí también fue arduo el trabajo para consolidar un programa de estudios estable y moderno, coordinando los aspectos teóricos y prácticos, organizando laboratorios docentes. Se introdujo la enseñanza de la física cuántica en el curso básico para ingenieros, y en 1975 se creó el Departamento de Ingeniería Nuclear, que inició la formación regular de ingenieros nucleares. Comenzaron también en el Departamento de Ciencias Básicas actividades de investigación. Se formaron grupos de láseres, de holografía y de microelectrónica. Esta última actividad se desarrollaba en colaboración con el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME, Par. 3.2), también de la CUJAE (ver párrafo siguiente). Hacia la mitad de la década se desarrolló un programa de Maestría en Microelectrónica dirigido por especialistas canadienses. Varios profesores realizaron sus tesis de Maestría en el Departamento. Otros fueron a hacer el doctorado en la URSS. En la década del 80 la actividad de óptica cobró un fuerte impulso lo que se abordará posteriormente.

En 1976 la Facultad de Tecnología de la UH, radicada en la CUJAE, se convirtió en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), centro de educación superior independiente, adscrito al recién creado Ministerio de Educación Superior (Par. 3.12). También se creó una filial en Matanzas, que más tarde se transformó en una universidad independiente.

Desde 1968 se habían iniciado en la EF de la UH trabajos de caracterización óptica de semiconductores, análisis espectral, fotoluminiscencia e interferometría. A partir de 1970 comenzó el desarrollo de la optoelectrónica y se realizaron tesis de maestría sobre diodos emisores de luz. Más adelante continuaron las investigaciones sobre propiedades ópticas de semiconductores III-V y se fabricaron fotodiodos, celdas fotovoltaicas, fototransistores, láseres semiconductores y guías ópticas, en estrecha colaboración con el Instituto “A.F.Ioffé”, especialmente con el Laboratorio de Fenómenos de Contacto que dirigía el académico Zh. I. Alferov, premio Nóbel de Física en 2001.

En la Cátedra de Física del Instituto Técnico Militar (ITM, Par. 2.6) se realizaron trabajos de holografía y de comunicaciones ópticas. Se trabajó en moduladores de interrupción (Q-

switching) empleando dispositivos electro-ópticos con neobato de litio y magneto-ópticos con molibdato de plomo. Se realizaron investigaciones sobre reconocimiento multispectral. El trabajo de esta cátedra realizó un significativo aporte al desarrollo de la Óptica en Cuba.

### **3.6. La Física Médica**

Como resultado de la labor pionera del primer grupo de físicos y otros especialistas que comenzaron a trabajar en el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología de la Habana en los años sesenta (Parr. 2.6, 3.3), se diseminaron por todo el país los servicios de radioterapia y se iniciaron los de medicina nuclear. Desde un inicio el Ministerio de Salud Pública aprobó que en la composición de los módulos básicos de Radioterapia, Medicina Nuclear y Radioprotección se incluyeran plazas de especialistas en Física Médica, con lo que el número de físicos prestando servicios y realizando investigaciones en ambiente clínico se elevó significativamente. Ya a finales de los años 70 se encontraban laborando en los hospitales cubanos, sobre todo en el área de Medicina Nuclear, más de 30 físicos médicos, una cantidad grande en relación a la media del resto de América Latina.

### **3.7. El ININTEF**

El Instituto de Investigación Técnica Fundamental (ININTEF), fue un centro multidisciplinario fundado en 1975 a partir del Departamento de Electrónica de la ACC, donde se desarrollaron varias ramas de la Física que hasta el momento no habían sido abordadas por otras instituciones. Como su nombre lo indicaba, el ININTEF fomentó la investigación fundamental, de tipo orientado o estratégico, en áreas de interés tecnológico.

Entre las direcciones de trabajo del ININTEF en las que participaban físicos se destacan la Ultrasónica, la Energía Solar, la Electrónica Cuántica y las Comunicaciones Ópticas. El grupo de Energía Solar fue el embrión del Instituto de Energía Solar, creado años después en Santiago de Cuba. También se desarrollaron trabajos teóricos sobre Procesos Estocásticos y se creó un Grupo de Teoría de Campos, que en 1983 se trasladó al Instituto de Matemática Aplicada y Computación, otro centro de la ACC donde también trabajaban algunos físicos en problemas de modelación.

Se lograron también resultados de utilidad práctica relacionados con el aprovechamiento de la energía solar, el empleo de métodos ultrasónicos en la industria y en la medicina, y el diseño de controladores industriales a base de microprocesadores. El ININTEF participó en 5 de los

experimentos realizados durante el vuelo espacial conjunto URSS-Cuba realizado en septiembre de 1980.

### **3.8. El BECICPA**

Resulta importante mencionar la creación, en 1978, adicionalmente a las entidades anteriormente existentes, del Buró Especial para la Construcción de instrumentos Científicos con Producción Adjunta (BECICPA), con el propósito de realizar un ciclo completo de diseño y producción de instrumentos científicos y ópticos (dispositivos electrónicos, láseres para fisioterapia e instrumentos analíticos, generalmente producidos en países desarrollados), y con el propósito de reforzar el impacto de la física y la tecnología en la sociedad. Esta institución tuvo su desarrollo fundamental durante las décadas del ochenta y del noventa que se abordarán posteriormente.

### **3.9. Las actividades en el CNIC**

Durante los años setenta trabajaban en el CNIC en distintas áreas de la Física Aplicada unos veinte físicos. Además de las ya mencionadas actividades en el campo de la Física Nuclear, existía un grupo de Metalografía Física y otro de Química- Física de Superficies. El CNIC disponía de laboratorios con técnicas físicas de amplio uso (difracción de rayos X, microscopía electrónica, resonancia magnética nuclear, espectrometría de masas y espectrometría Mossbauer) con los que llevaba a cabo servicios e investigaciones aplicadas para la minería y la industria. Además, atraía a muchos físicos que trabajaban en otras instituciones, pero realizaban parte de su trabajo experimental con los equipos del CNIC, que también desarrollaba una amplia docencia de postgrado. En 1971, con el fin de crear las condiciones para el diseño y construcción de instrumentos electrónicos y electromagnéticos de análisis y equipos de apoyo al trabajo científico, surgió en el CNIC el Departamento de Instrumentación Electrónica (DIE), producto del desarrollo evolutivo del Grupo Técnico de los talleres de Electrónica y de Mecánica de la Institución [Memoria Anuario, 1976–77]. Se desarrollaron técnicas de análisis nuclear, y se fabricaron contadores, discriminadores, módulos nucleares de alto y bajo voltaje, instrumentos de prospección petrolera, entre muchos otros.

### **3.10. Las comunicaciones espaciales y los experimentos en el cosmos**

Las actividades espaciales en colaboración con la URSS florecieron durante los años setenta y en ellas también tuvieron participación los físicos cubanos. Hemos discutido (Par. 1.4) la

necesidad que tenía el país de establecer un sistema de comunicaciones vía satélite. En 1971, en el marco del Programa Intercosmos, se creó Intersputnik, una organización intergubernamental destinada a realizar comunicaciones telefónicas y telegráficas de larga distancia, junto al intercambio de programas de radio y televisión, vía satélite. En el marco de un acuerdo bilateral entre los Ministerios de Comunicaciones de Cuba y la URSS, en 1972 se inició en Cuba la construcción de la Estación Caribe, dotada de una antena parabólica de 12 metros de diámetro, para operar alrededor de 4–6 GHz transmitiendo un canal televisivo y 60 canales telefónicos, a través de un satélite Intersputnik, inicialmente de tipo Molnya 2. En noviembre de 1973 se logró recibir los primeros programas de televisión en color desde Moscú. Este sistema permitió comunicar con la Unión Soviética y los Países de Europa Oriental y, a través de ellos, con Francia, Italia y España.

Sin embargo, las limitaciones del sistema Intersputnik para comunicaciones de banda ancha con los Países de América Latina y la Europa Occidental emergieron en 1979, cuando La Habana fue escogida para la sexta Cumbre de los Países No Alineados. Sólo en los años ochenta Intersputnik cambió del Molnya a los satélites geoestacionarios de comunicación Statsionar, con capacidad de comunicación mucho mayor.

Al final de esta década un hecho muy relevante fueron los 20 experimentos en el cosmos, realizados con la participación de unos 200 especialistas cubanos y efectuados en el vuelo espacial conjunto soviético-cubano, a bordo del laboratorio orbital Saliut-6 en septiembre de 1980, en el que participó el piloto cosmonauta cubano coronel Arnaldo Tamayo Méndez. Se incluyeron experimentos diseñados por físicos cubanos, relacionados con crecimiento de cristales, comunicaciones ópticas y otros. Un artículo de esta monografía está dedicado específicamente a ese tema.

### **3.11. Asentamiento del sistema científico cubano**

Durante la década de los setenta, la organización a nivel estatal de la Ciencia en Cuba sufrió sucesivas transformaciones institucionales, existiendo siempre alguna Dirección encargada de velar por el desarrollo de las Ciencias Básicas, entre ellas la Física. Un estudio realizado por esta Dirección en 1976 da una idea del enorme avance logrado en el plazo de solo 15 años, a partir de las condiciones iniciales que hemos descrito, [Estado, 1976]. En el mismo se mencionan las principales instituciones que desarrollaban investigaciones en el campo de la Física en Cuba: la Escuela de Física y el Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido (LIEES) de la UH, las Escuelas de Física de la UO y de la UCLV; el

Departamento de Ciencias Básicas y el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) del ISPJAE; en la ACC el Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ), el Instituto de Meteorología, el Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), el Instituto de Investigación Técnica Fundamental (ININTEF); algunos departamentos del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC); el Instituto Pedagógico “Enrique José Varona” (ISPEJV); el Departamento de Física del MINED; el Instituto de Oncología y Radiobiología del MINSAP. Probablemente no se incluyeron en el informe algunos laboratorios y centros multidisciplinarios radicados en la industria, entre ellos el Centro de Investigaciones Metalúrgicas, el Instituto de Metrología, el Laboratorio Central de Telecomunicaciones, el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, el Instituto Cubano de Investigaciones del Azúcar y varios hospitales, donde también trabajaban físicos.

Como parte del plan quinquenal 1976–80 se elaboró un Plan de Ciencia y Técnica que abarcaba varios objetivos de investigación - desarrollo relacionados con la Física, tales como la producción de componentes electrónicos, la aplicación de métodos analíticos químicos y físicos para la industria extractiva del níquel; el desarrollo de técnicas físicas experimentales, cálculos y estudios tecnológicos de reactores nucleares, protección radiológica y seguridad nuclear; técnicas nucleares con aplicación en la economía nacional; estudios del Sol, la magnetosfera, la ionosfera; estudio del aprovechamiento de la energía solar; electrónica cuántica, láser; contaminación del medio ambiente.

Las Tablas 2 y 3 presentan el número total de graduados en física y de publicaciones. A partir del año 1978 se registró un aumento notable de los doctores en Física (Tabla 4).

Resulta interesante recordar las razones de la importancia del desarrollo de las actividades en las ciencias físicas, que se destacaban en el antes mencionado estudio [Estado, 1976]:

1. Desde el punto de vista educacional, por la importancia creciente de la Física en todas las ramas de la ciencia y la tecnología.
2. Desde el punto económico y científico-técnico por sus contribuciones de carácter fundamental, orientado y aplicado. Se destacaban: a) la Física Nuclear, cuya importancia para la economía es muy grande por las perspectivas de instalar en nuestro país plantas nucleoelectricas en un futuro inmediato; sin embargo, se debe mencionar también la utilización de radioisótopos en la agricultura, la medicina y la biología, etc., y b) la Física del Estado Sólido de primerísima importancia para el desarrollo de

las industrias electrónica y minero-metalúrgica, y en la cual hemos logrado alcanzar una posición notable en la América Latina; esta rama puede tener en Cuba una amplia gama de aplicaciones a campos muy diversos, como la industria química, la de construcciones, etc..

3. Desde el punto de vista político, sobre todo si se tiene en cuenta que en diez años hemos logrado una posición cercana a un tercer lugar dentro del marco latinoamericano, aventajada sólo por Brasil, Argentina y México (países de potencialidad industrial mucho mayor que el nuestro) en lo referente a la Física del Estado Sólido.
4. Desde el punto de vista ideológico, por la elaboración de un modelo del mundo, los problemas de la materia y sus transformaciones, de la causalidad, de la interacción, de la transformación de la cantidad en calidad, de la práctica como base y el fin del conocimiento y otras muchas más, de gran importancia en la Filosofía Marxista-Leninista, encuentran en la Física su permanente evidencia y la posibilidad de su profundización.

<b>No. de graduados de Física (1976)</b>	<b>Procedencia</b>
337	Universidad de La Habana
35	Universidad de Oriente
12	Universidad Central de Las Villas
35	Extranjero
10	Físico-Matemáticos
<b>TOTAL</b>	<b>429</b>

**Tabla 2:** Número de graduados en Física [Fuente: ESTADO, 1976].

<b>Instituciones Nacionales</b>	<b>Extranjeras</b>	<b>Publicaciones (1976)</b>
Escuela de Física de la UH	100	20
Inst. Geofísica y Astronomía, ACC	17	32
Inst. Investigaciones Nucleares, ACC	14	–
Inst. Investigaciones Téc. Fundamental, ACC	10	7
<b>TOTAL</b>	<b>141</b>	<b>59</b>

**Tabla 3:** Publicaciones científicas [Fuente: ESTADO, 1976].

<b>Año</b>	<b>Defensas</b>	<b>Acumulado</b>
1974	1	1
1975	1	2
1976	3	5
1977	0	5
1978	10	15
1979	7	22
1980	4	26

**Tabla 4:** Doctores en Física registrados por la CNGC [Fuente: ESTADO, 1976].

Nota. No todos los físicos que defendían sus doctorados en el extranjero realizaban oportunamente los trámites para la homologación de sus títulos ante la CNGC, por lo que estas cifras representan una cota inferior.

### **3.12. La creación del Ministerio de Educación Superior (MES) y los cambios en las Universidades**

El rápido crecimiento de las matrículas y la creciente vinculación entre las universidades y los demás organismos del Estado, condujo a la división en 1976 de las tres mayores universidades (UH, UO, UCLV), de la que emergió una amplia red de centros de educación superior, y a la creación del Ministerio de Educación Superior (MES). Las Facultades de Pedagogía se transformaron en Institutos Pedagógicos, adscritos al Ministerio de Educación y

las de Ciencias Médicas en el Instituto Superior de Ciencias Médicas, subordinado al Ministerio de Salud Pública. De las Facultades de Tecnología y Ciencias Agropecuarias de la UH y la UO surgieron el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (ISPJAE), el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), el Instituto Superior Politécnico “Julio Antonio Mella” (ISPJAM), el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de Bayamo (ISCAB). También se fueron creando universidades en varias provincias a partir de filiales universitarias previamente existentes. En consecuencia el número de departamentos de Física también creció.

El MES introdujo normas unificadoras en los planes de estudios, en la organización de la enseñanza y en las actividades de investigación que inicialmente crearon algunas contradicciones con la diversidad de concepciones, niveles de desarrollo y formas organizativas previamente existentes. En particular, desaparecieron las Escuelas y se estableció una estructura similar a la de las universidades soviéticas, formadas por facultades y departamentos (cátedras). Estos últimos eran la célula básica que agrupaba tanto las actividades docentes como las de investigación en una disciplina o carrera.

La EF de la UH fue dividida en tres departamentos y una Unidad de Ciencia y Técnica (el LIEES) “disueltos” dentro de una Facultad de Ciencias Exactas y Geografía que unificó a las antiguas Escuelas de Física, Química, Matemática y Geografía [Memoria Anuario, 1976–77]. En consecuencia, hubo que romper con el sistema de trabajo anterior, basado en secciones docentes y grupos de investigación, que permitía una atención diferenciada y especializada a las dos actividades y que tan buenos resultados había dado. Además dejó de existir la unidad organizativa que agrupaba a todos los físicos [Memoria Anuario, 1976–77].

Afortunadamente, esta estructura no duró mucho y sucesivamente se fueron desgajando las Facultades de Química y Geografía, hasta que en 1984 se creó la Facultad de Física, con una composición similar a la de la antigua Escuela, pero ahora directamente subordinada al Rector. A pesar de estas dificultades, el incremento del número de doctores, el impulso a la docencia de postgrado y la ampliación de las relaciones de colaboración con instituciones soviéticas, caracterizaron los principales avances en esta etapa. En agosto de 1979 se registró la primera [tesis de Doctorado, en dispositivos microelectrónicos] realizada y discutida en Cuba, en su totalidad [Boletín, 1979b, p. 32–33]. En 1980 se realizaron a bordo de la estación espacial Saliut-6 los ya mencionados experimentos, algunos de los cuales fueron diseñados por físicos de la UH en colaboración con sus colegas soviéticos.

Por su parte, el ISPJAE se convirtió en el centro rector de la enseñanza de la ingeniería en Cuba. El número de carreras de ingeniería creció. El curso básico de Física se diferenció para cada rama de la ingeniería, y se redactaron los primeros libros de Física para ingenieros elaborados por autores cubanos.

### **3.13. Creación de la Sociedad Cubana de Física**

Al triunfo de la Revolución la vieja Sociedad Cubana de Ciencias Físicas y Matemáticas se había desmembrado, con el éxodo al extranjero de una parte importante de los profesionales cubanos.

El 24 de junio de 1978, en una asamblea de casi 200 físicos, quedó constituida la Sociedad Cubana de Física (aunque la resolución final resultó registrada oficialmente un año más tarde), el 29 de junio de 1978 se creaba también la Sociedad Cubana de Matemática [Jimenez Pozo y Sánchez Fernández, 1993]. Como primer presidente de la Sociedad que fue elegido Daniel Stolik.

## **4. El crecimiento de la física cubana hasta 1990: la madurez del sistema científico cubano**

Partiendo del nivel alcanzado en la década precedente, los ochenta trajeron un incremento sustancial de la investigación y el postgrado en el campo de la física, se fundaron nuevos centros de investigación y las ramas que ya habían alcanzado algún desarrollo recibieron un impulso adicional.

### **4.1. El contexto general**

Como ya se ha señalado, el ingreso de Cuba al Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) en 1976 fortaleció la integración política y económica con la URSS y Europa del Este. Se adoptó un sistema de dirección y planificación de la economía similar al de estos países, que incluía proyecciones de desarrollo a largo (varios decenios), mediano (planes quinquenales) y corto plazo (planes anuales).

La Ciencia se incluía dentro de este mecanismo de planificación centralizada, de modo que acompañase los programas de desarrollo económico y social del país. Proliferaron los convenios de colaboración a todos los niveles, lo cual amplió el acceso a las instituciones líderes de la ciencia y la educación superior, a la participación en programas conjuntos, etc. A diferencia de la etapa anterior (hasta 1975), en la que algunas instituciones jugaron el papel

principal en la concepción y desarrollo de la política científica, ahora fue a los organismos rectores de la administración central del Estado, entre ellos el Comité Estatal de Ciencia y Técnica y posteriormente a la Academia de Ciencias de Cuba, a quienes correspondió trazar las pautas y tomar las decisiones principales.

Al menos en su etapa inicial, este sistema no atribuía a la investigación científica en las universidades el rol protagónico que habían tenido hasta entonces en el desarrollo económico y social, sino una función más limitada a la formación de especialistas y las investigaciones básicas. Esto parecía seguir el esquema de los países socialistas europeos, donde coexistían tres sectores científicos con funciones supuestamente diferentes: las universidades, los institutos de las academias de ciencias y los centros de investigación ramales ligados a los sectores industriales, de servicios o militares. Este modelo suponía en ocasiones la duplicación o triplicación de recursos humanos y materiales en determinada área del conocimiento, algo de dudosa aplicabilidad en un país pequeño como Cuba.

Aunque la colaboración con la URSS y el CAME abarcó prácticamente a todos los sectores e instituciones, hubo varios programas de inversiones para el desarrollo industrial con gran influencia en la física cubana hasta 1990: el programa nuclear, el de la electrónica y, en menor medida, los relacionados con los sectores minero-metalúrgico y sidero-mecánico. Estos programas contaban con financiamientos, asistencia técnica, suministros y mercados supuestamente garantizados a largo plazo. Como se verá después, el desarrollo del sector de la salud, de la biotecnología y de la industria médico farmacéutica, donde los físicos también han tenido cierto espacio, fue esencialmente diferente.

Cada programa tenía sus especificidades, pero en sentido general, la misión principal que se atribuía a la ciencia cubana en ellos era apoyar el proceso de inversiones y transferencia de tecnologías hacia estos sectores. Ello suponía la formación de especialistas de alto nivel, la creación de laboratorios para brindar servicios de apoyo a la industria, la recepción de una considerable asistencia técnica extranjera y la investigación. Se daba prioridad a las investigaciones aplicadas, muchas de ellas relacionadas con el aprendizaje, la adaptación e integración de las nuevas tecnologías a las condiciones locales, aunque también se concedía cierto espacio a las de carácter básico, que garantizaran una base sólida a la formación de especialistas y el desarrollo futuro de tecnologías propias. En algunos casos, las tecnologías transferidas no eran las más avanzadas a escala mundial, bien fuese por su alto consumo energético, su bajo nivel de automatización o su agresividad con el medio ambiente. Sin

embargo, para Cuba parecían representar un salto considerable y un gran desafío para su joven comunidad científica y tecnológica.

La investigación no se organizaba por ramas de la Ciencia, sino por esferas de aplicación, y los centros de investigación eran en su mayoría multidisciplinarios. En este contexto, los físicos aparecen diseminados, con mayor o menor peso, en una amplia variedad de instituciones cuyos nombres y objeto de trabajo no necesariamente se identifican con la Física. Sus contribuciones eran publicadas en revistas de muy diverso perfil. En muchos casos, la investigación se valoraba más por las capacidades creadas, por el “know-how” de un grupo y por los productos o servicios que contribuía a generar, que por sus publicaciones.

Otra característica general de esa etapa fue el impulso dado a la formación de doctores, que de acuerdo a la ley cubana de grados científicos hasta 1992 se llamaron Candidatos en Ciencias, siguiendo la nomenclatura soviética, que reservaba el título de Doctor para los doctorados de segundo nivel. El número de estudiantes en las universidades cubanas creció considerablemente y aunque continuó la formación masiva de licenciados e ingenieros en universidades europeas, el peso de la colaboración educativa, al menos en el campo de la física, se trasladó hacia el postgrado. Según datos de la Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC) de la República de Cuba, entre 1980 y 1990 la cifra de doctores en Ciencias Físicas pasó de 26 a 129, buena parte de ellos graduados en instituciones soviéticas de muy alto nivel. Las cifras reales deben ser algo mayores porque no todos los que obtenían su grado en el extranjero homologaban su título ante la CNGC. Tampoco se incluyen los físicos que defendieron su doctorado en Ciencias Técnicas o en otra especialidad. (Ver contribución en este volumen de O. de Melo y M. Sánchez)

A pesar de los indudables avances obtenidos, hacia mediados de los años 80 se fue conformando en todo el país una visión crítica de la investigación científica, dada por el bajo nivel de aplicación de los resultados, la dispersión temática y la falta de integralidad de muchos de los esfuerzos que se realizaban. Esa crítica formó parte de otra más general, que condujo al proceso de “Rectificación de errores y tendencias negativas”, coetáneo de la “Perestroika”, donde se reflejaron muchas de las características originales de la experiencia socialista cubana con respecto al modelo de Europa del Este y que se manifestaron en la posterior evolución de ambos procesos. La insatisfacción por el aporte social de la ciencia no condujo aquí a la pérdida de confianza en ella, sino a su fortalecimiento.

Como resultado, a partir de 1985 se produjeron cambios importantes en la política científica tendientes a cerrar el ciclo de la investigación, los cuales condujeron a la creación de centros de investigación de nuevo tipo y de los Polos Científicos, a la mayor utilización del potencial científico de las universidades y al auge del movimiento innovador denominado Fórum de Ciencia y Técnica. El resultado más visible de estas transformaciones fue el surgimiento en Cuba de un sector productivo exportador de alta tecnología asociado a la Biotecnología y la industria médico farmacéutica, que hoy tiene un peso importante y creciente en la economía cubana. Sin embargo, durante esos años se desestimuló la defensa de tesis doctorales y la publicación de artículos científicos, en beneficio de la rápida aplicación práctica de resultados cuya calidad no siempre estaba avalada por la evaluación de expertos independientes.

[Rodríguez Castellanos, C., 1997 Universidad de La Habana: Investigación Científica y Período Especial. Revista Cubana de Educación Superior, XVIII, 3, 1997,13–36].

En ese contexto surgieron nuevos centros de investigación, generalmente formados a partir de grupos ya existentes, con el propósito de dotar a estos colectivos de mayor capacidad para aplicar sus resultados científicos. Entre los más directamente relacionados con la Física se destaca la creación del IMRE (Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica; 1985), del CEADEN (Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear; 1985) y del CBFM (Centro de Biofísica y Física Médica; 1993).

#### **4.2. Experimentos en el Cosmos**

Como ya se ha señalado, el ingreso de Cuba al Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) en 1976 fortaleció la integración política y económica con la URSS y Europa del Este. Se adoptó un sistema de dirección y planificación de la economía similar al de estos países, que incluía proyecciones de desarrollo a largo (varios decenios), mediano (planes quinquenales) y corto plazo (planes anuales).

La Ciencia se incluía dentro de este mecanismo de planificación centralizada, de modo que acompañase los programas de desarrollo económico y social del país. Proliferaron los convenios de colaboración a todos los niveles, lo cual amplió el acceso a las instituciones líderes de la ciencia y la educación superior, a la participación en programas conjuntos, etc. A diferencia de la etapa anterior (hasta 1975), en la que algunas instituciones jugaron el papel principal en la concepción y desarrollo de la política científica, ahora fue a los organismos rectores de la administración central del Estado, entre ellos el Comité Estatal de Ciencia y

Técnica y posteriormente a la Academia de Ciencias de Cuba, a quienes correspondió trazar las pautas y tomar las decisiones principales.

Al menos en su etapa inicial, este sistema no atribuía a la investigación científica en las universidades el rol protagónico que habían tenido hasta entonces en el desarrollo económico y social, sino una función más limitada a la formación de especialistas y las investigaciones básicas. Esto parecía seguir el esquema de los países socialistas europeos, donde coexistían tres sectores científicos con funciones supuestamente diferentes: las universidades, los institutos de las academias de ciencias y los centros de investigación ramales ligados a los sectores industriales, de servicios o militares. Este modelo suponía en ocasiones la duplicación o triplicación de recursos humanos y materiales en determinada área del conocimiento, algo de dudosa aplicabilidad en un país pequeño como Cuba.

Aunque la colaboración con la URSS y el CAME abarcó prácticamente a todos los sectores e instituciones, hubo varios programas de inversiones para el desarrollo industrial con gran influencia en la física cubana hasta 1990: el programa nuclear, el de la electrónica y, en menor medida, los relacionados con los sectores minero-metalúrgico y sidero-mecánico. Estos programas contaban con financiamientos, asistencia técnica, suministros y mercados supuestamente garantizados a largo plazo. Como se verá después, el desarrollo del sector de la salud, de la biotecnología y de la industria médico farmacéutica, donde los físicos también han tenido cierto espacio, fue esencialmente diferente.

Cada programa tenía sus especificidades, pero en sentido general, la misión principal que se atribuía a la ciencia cubana en ellos era apoyar el proceso de inversiones y transferencia de tecnologías hacia estos sectores. Ello suponía la formación de especialistas de alto nivel, la creación de laboratorios para brindar servicios de apoyo a la industria, la recepción de una considerable asistencia técnica extranjera y la investigación. Se daba prioridad a las investigaciones aplicadas, muchas de ellas relacionadas con el aprendizaje, la adaptación e integración de las nuevas tecnologías a las condiciones locales, aunque también se concedía cierto espacio a las de carácter básico, que garantizaran una base sólida a la formación de especialistas y el desarrollo futuro de tecnologías propias. En algunos casos, las tecnologías transferidas no eran las más avanzadas a escala mundial, bien fuese por su alto consumo energético, su bajo nivel de automatización o su agresividad con el medio ambiente. Sin embargo, para Cuba parecían representar un salto considerable y un gran desafío para su joven comunidad científica y tecnológica.

La investigación no se organizaba por ramas de la Ciencia, sino por esferas de aplicación, y los centros de investigación eran en su mayoría multidisciplinarios. En este contexto, los físicos aparecen diseminados, con mayor o menor peso, en una amplia variedad de instituciones cuyos nombres y objeto de trabajo no necesariamente se identifican con la Física. Sus contribuciones eran publicadas en revistas de muy diverso perfil. En muchos casos, la investigación se valoraba más por las capacidades creadas, por el “know how” de un grupo y por los productos o servicios que contribuía a generar, que por sus publicaciones.

Otra característica general de esa etapa fue el impulso dado a la formación de doctores, que de acuerdo a la ley cubana de grados científicos hasta 1992 se llamaron Candidatos en Ciencias, siguiendo la nomenclatura soviética, que reservaba el título de Doctor para los doctorados de segundo nivel. El número de estudiantes en las universidades cubanas creció considerablemente y aunque continuó la formación masiva de licenciados e ingenieros en universidades europeas, el peso de la colaboración educativa, al menos en el campo de la física, se trasladó hacia el postgrado. Según datos de la Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC) de la República de Cuba, entre 1980 y 1990 la cifra de doctores en Ciencias Físicas pasó de 26 a 129, buena parte de ellos graduados en instituciones soviéticas de muy alto nivel. Las cifras reales deben ser algo mayores porque no todos los que obtenían su grado en el extranjero homologaban su título ante la CNGC. Tampoco se incluyen los físicos que defendieron su doctorado en Ciencias Técnicas o en otra especialidad. (Ver contribución en este volumen de O. de Melo y M. Sánchez)

A pesar de los indudables avances obtenidos, hacia mediados de los años 80 se fue conformando en todo el país una visión crítica de la investigación científica, dada por el bajo nivel de aplicación de los resultados, la dispersión temática y la falta de integralidad de muchos de los esfuerzos que se realizaban. Esa crítica formó parte de otra más general, que condujo al proceso de “Rectificación de errores y tendencias negativas”, coetáneo de la “Perestroika”, donde se reflejaron muchas de las características originales de la experiencia socialista cubana con respecto al modelo de Europa del Este y que se manifestaron en la posterior evolución de ambos procesos. La insatisfacción por el aporte social de la ciencia no condujo aquí a la pérdida de confianza en ella, sino a su fortalecimiento.

Como resultado, a partir de 1985 se produjeron cambios importantes en la política científica tendientes a cerrar el ciclo de la investigación, los cuales condujeron a la creación de centros de investigación de nuevo tipo y de los Polos Científicos, a la mayor utilización del potencial

científico de las universidades y al auge del movimiento innovador denominado Fórum de Ciencia y Técnica. El resultado más visible de estas transformaciones fue el surgimiento en Cuba de un sector productivo exportador de alta tecnología asociado a la Biotecnología y la industria médico farmacéutica, que hoy tiene un peso importante y creciente en la economía cubana. Sin embargo, durante esos años se desestimuló la defensa de tesis doctorales y la publicación de artículos científicos, en beneficio de la rápida aplicación práctica de resultados cuya calidad no siempre estaba avalada por la evaluación de expertos independientes.

[Rodríguez Castellanos, C., 1997 Universidad de La Habana: Investigación Científica y Período Especial. Revista Cubana de Educación Superior, XVIII, 3, 1997,13–36].

En ese contexto surgieron nuevos centros de investigación, generalmente formados a partir de grupos ya existentes, con el propósito de dotar a estos colectivos de mayor capacidad para aplicar sus resultados científicos. Entre los más directamente relacionados con la Física se destaca la creación del IMRE (Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica; 1985), del CEADEN (Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear; 1985) y del CBFM (Centro de Biofísica y Física Médica; 1993).

#### **4.2. Experimentos en el Cosmos**

Quizás la expresión más directa de “cuán alto” llegó la colaboración entre Cuba, la URSS y los demás países socialistas en el campo de la Física, la constituyen los experimentos científicos diseñados por físicos cubanos y soviéticos, que fueron realizados a bordo de la estación orbital Salyut-6. Durante el vuelo conjunto en que participó el cosmonauta cubano Coronel Arnaldo Tamayo Méndez del 18 al 26 de septiembre de 1980, tres de los 20 experimentos desarrollados habían sido diseñados por físicos e ingenieros cubanos que durante casi cinco años trabajaron en este empeño junto a científicos soviéticos. Uno de estos experimentos tenía como objetivo la obtención de nuevos materiales semiconductores en condiciones de microgravedad. El propósito de los otros dos era estudiar el efecto de la microgravedad sobre el crecimiento de cristales de sacarosa, incluyendo la cinética molecular y la microtopografía de los cristales obtenidos en este proceso. Estos últimos estudios tuvieron ulterior aplicación en la industria azucarera. A finales de este año, se realizaron otros dos experimentos preparados en colaboración con el Instituto Físico-Técnico Ioffe de Leningrado y relacionados con la transmisión de información holográfica entre la estación y la Tierra. En marzo de 1981, se tomó a bordo de la estación una secuencia de imágenes holográficas tridimensionales de la disolución de una sal en un líquido, que fueron transmitidas

a tierra para el estudio de la dinámica de este proceso. Otros experimentos biofísicos se continuaron con estudios sobre el efecto de largos períodos de hospitalización sobre la circulación sanguínea y los ataques cardíacos. En la presente monografía se incluye un artículo de J. Altshuler sobre estos estudios y experimentos.



**Figura 1:** Equipo utilizado en el experimento “Azúcar”.

#### **4.3. La Física y los físicos en el programa de la electrónica. El IMRE y el CEDEIC**

Es a comienzos de la década del 80 que se logra articular los esfuerzos que Cuba había desarrollado de manera independiente en los campos de la Electrónica, la Microelectrónica y la Computación, con los programas del CAME en esta esfera. La fábrica de componentes electrónicos de silicio, en construcción en Pinar del Río, cuyo equipamiento había sido comprado a una firma española adsorbida por Motorola, inicia un proceso de reconversión tecnológica previo a su puesta en marcha, destinado a operar con materias primas, materiales y tecnologías de los países del CAME. Al mismo tiempo se proyectan inversiones en la fabricación de equipos electrónicos, computadoras, circuitos integrados híbridos y circuitos impresos. Se impulsa la automatización industrial y comienza a desarrollarse la industria del software. Todo esto se integra en un Programa Nacional de Desarrollo de la Electrónica, bajo la dirección del entonces Vicepresidente del Consejo de Ministros Pedro Miret, y se crea el llamado “Frente de la Electrónica”, en cuyas reuniones y comisiones participaban todas las organizaciones que de una manera u otra tenían que ver con el programa: los organismos rectores de la ciencia y la economía, la industria, universidades, centros de investigación, escuelas tecnológicas, empresas importadoras, centros de desarrollo de software, etc. Los físicos tuvieron una amplia presencia en este programa.

En la fábrica de Pinar del Río, oficialmente inaugurada en 1987 con el nombre de Combinado de Componentes Electrónicos (CCE) “Comandante Ernesto Ché Guevara” llegaron a laborar casi 30 jóvenes físicos, fundamentalmente en las áreas de tecnología, control de la calidad y desarrollo. En realidad, las actividades productivas en las áreas de montaje y encapsulado habían comenzado en 1984. Ya en 1988 se desarrollaron allí circuitos integrados bipolares lineales que luego fueron producidos en la RDA y se fabricó totalmente, por primera vez en el país, el amplificador operacional 741.

En el CIME del ISPJAE y en el Departamento de Microelectrónica del Instituto Cubano de investigación Digital (ICID) se concentraban los pioneros de las investigaciones en Microelectrónica, los cuales trabajaban con el objetivo de transferir sus desarrollos a la industria cubana o a fábricas de otros países del CAME. En el ICID se desarrolló el primer circuito integrado de alto nivel de integración de uso específico, el LOCICHP, diseñado totalmente en Cuba y fabricado posteriormente en Bulgaria.

También se incorporó un grupo de unos 10 físicos recién graduados a una fábrica de circuitos integrados híbridos que se proyectó instalar en el combinado industrial “Copextel”, pero que nunca llegó a inaugurarse.

En el Laboratorio Central de Telecomunicaciones (LACETEL), en institutos de la ACC, como el CEDEIC y el ININTEF, en el CNIC y en algunas empresas trabajaban durante los años 80 decenas de físicos dedicados al desarrollo de dispositivos y equipos electrónicos, las comunicaciones, el software y la robótica.

En la Universidad de La Habana, los laboratorios de investigación en física del estado sólido de la Facultad de Física se integraron con otros grupos de la Facultad de Química en el IMRE (Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica), creado en 1985 con el objetivo de concentrar recursos, atraer inversiones estatales y asumir importantes compromisos con el Programa Nacional de Desarrollo de la Electrónica. La historia del IMRE se analizará a continuación con más detalle.

#### **4.3.1 El IMRE**

A mediados de los años ochenta, el Laboratorio de Investigaciones en Electrónica del Estado Sólido (LIEES) de la Facultad de Física de la UH, bajo la dirección del Dr. Pedro Díaz Arencibia primero y del Dr. Juan Fuentes Betancourt después, estaba dedicado a la obtención y caracterización de materiales semiconductores y dispositivos optoelectrónicos (celdas solares, diodos electroluminiscentes, láseres, fotodiodos, fototransistores, etc.). El LIEES

tenía personal de investigación a tiempo completo, participaba en la colaboración con las academias de ciencias de los países socialistas, en el programa Intercosmos, etc. La colaboración con el Instituto “Ioffe”, especialmente con el Laboratorio de Fenómenos de Contacto que dirigía el académico (ganador del Premio Nobel de Física en 2001) Zhores Ivanovich Alférov, era muy amplia y efectiva. La contribución en 1980 al diseño del experimento “Caribe”, crecimiento de cristales semiconductores en condiciones de microgravedad, realizado durante el vuelo espacial conjunto cubano – soviético, había sido un acontecimiento de gran relevancia que prestigió notablemente al laboratorio.

También floreció en estos años el Laboratorio de Magnetismo, dirigido por el Dr. Oscar Arés Muzio, donde se fabricaban imanes y núcleos de ferritas con materias primas importadas y se había alcanzado un buen dominio de la tecnología de obtención a nivel de laboratorio de ferritas para diversas aplicaciones. Por esa época, el Laboratorio de Lateritas de la Facultad de Química dirigido por el Dr. Leonel Pérez Marín había obtenido óxido férrico de buena calidad a partir de desechos de la minería del níquel. Entre ambos surgió la idea de fabricar ferritas con el óxido férrico cubano y los resultados fueron muy exitosos.

Este logro se presentó por el Dr. Leonel Pérez Marín, quien participó a nombre de la UH, en la reunión del Frente de la Electrónica del 17 de febrero de 1984, en la que se discutió la problemática de las materias primas y los materiales necesarios para el desarrollo de la industria electrónica en Cuba. En esa reunión se propuso crear un instituto de investigaciones en el campo de los materiales para la electrónica, que estuviera radicado en la UH. Se estableció el compromiso de que la industria apoyaría a dicho instituto universitario y sería “su” centro de investigaciones en el campo de los materiales. El asunto se trasladó al VPCM Pedro Miret y se aprobó en la reunión del Frente de la Electrónica del 9 de abril de 1984, en la que también se solicitó a la UH participar en las investigaciones destinadas a obtener Cuarzo para fibras ópticas y resonadores a partir de materias primas cubanas, tarea que se acometió poco después por el LIEES.

La propuesta de creación del IMRE fue respaldada rápidamente en la UH por los Decanos de Física (Dr. Carlos Rodríguez Castellanos) y Química (Dr. Jacques Rieumont Briones) y aprobada por el Rector Fernando Rojas Ávalos y el Ministro de Educación Superior Dr. Fernando Vecino Alegret. Se constituyó una comisión con los dos decanos y Dr. Leonel Pérez Marín que, bajo la dirección del Vicerrector primero MSc. Armado Pérez Perdomo, se encargó de diseñar la estructura y normas de funcionamiento de un centro tan sui generis, que

se subordinaba simultáneamente a la UH y al Frente de la Electrónica y donde participaban, por una parte, investigadores y técnicos de plantilla y por otra, profesores y estudiantes pertenecientes a las Facultades de Física y Química.

Al IMRE se integraron paulatinamente todos los grupos de investigación experimentales y los talleres que hasta entonces estaban subordinados a la Facultad de Física, así como los laboratorios de investigación de Análisis Químico, Polímeros, Química Inorgánica y otros de la Facultad de Química. La relación del IMRE con las facultades era muy estrecha y existía un colegio de dirección formado por el director y los dos decanos, donde se tomaban las principales decisiones. Ambas facultades aportaron profesores que ocuparon las principales responsabilidades del IMRE y apoyaron su desarrollo con el trabajo de una parte considerable de sus profesores y estudiantes, sus cursos de postgrado y relaciones internacionales. De la Facultad de Física pasaron a la dirección del IMRE los doctores Elena Vigil Santos (subdirectora), Juan Fuentes Betancourt y Oscar Arés Muzio (jefes de departamento).

De 1986 a 1991 el IMRE creció considerablemente y fue objeto de una inversión que multiplicó su personal e infraestructura y lo dotó de nuevos equipos de investigación y medios de transporte. Las visitas del Presidente Fidel Castro en 1987 y 1989 y el apoyo que se derivó de ellas constituyeron un gran impulso y estímulo para el centro.

Durante sus primeros años de trabajo, el IMRE mantuvo relaciones de cooperación muy estrechas con las empresas del Frente de la Electrónica, así como con diversas instituciones del sistema de salud, y otros centros de investigación o producción, a los que prestó una amplia variedad de servicios de gran valor económico y social. La capacidad analítica creada adquirió importancia estratégica para el país.

Se desarrollaron trabajos de gran valor práctico, como la caracterización de todas las materias primas que adquiría la industria electrónica en divisas convertibles para su sustitución, por sus homólogas producidas en Cuba ó en los países socialistas. Se evaluaron también numerosas materias primas nacionales como arenas cuarzosas, zeolitas y residuos de plantas metalúrgicas, y se elaboraron procedimientos para su transformación en materiales para la electrónica. Se montó y se puso en marcha una planta piloto para la producción de materiales poliméricos utilizados en la industria. Se transfirieron al CCE tecnologías para la producción industrial de diodos electroluminiscentes, celdas solares y fotodiodos y se fabricaron los primeros láseres para aplicaciones médicas e industriales.



**Figura 2:** Instalación experimental para la deposición de capas mediante laser pulsado (PLD) en el IMRE. Universidad de La Habana.

A esos años corresponden también dos hechos que tuvieron singular importancia y estuvieron relacionados entre sí: por una parte, la obtención de las primeras cerámicas superconductoras y por otra el montaje de una planta para licuar helio. A estos aspectos nos referiremos brevemente a continuación.

En Cuba, ningún centro disponía entonces de helio líquido, por lo que no se desarrollaban investigaciones experimentales sobre superconductividad. Sin embargo, cuando a finales de febrero de 1987 Paul Chu anunció en Houston la obtención de una cerámica superconductoras de óxido de cobre, bario e itrio con una temperatura crítica superior a 90 K, fácilmente alcanzable enfriando la muestra con nitrógeno líquido, se “democratizó” el campo de la superconductividad, hasta entonces reservado a los laboratorios que dispusiesen de helio líquido, un refrigerante mucho más caro. A partir de la difusión de la forma de obtener el nuevo compuesto, muchos laboratorios reprodujeron los resultados.

Dada la experiencia del laboratorio de Magnetismo en el método cerámico, se solicitó al Dr. Oscar Arés Muzio que tratase de reproducir este resultado. En el mes de abril de ese año, apenas 2 meses después del anuncio de Paul Chu, un equipo dirigido por Arés obtuvo las primeras cerámicas superconductoras de YBaCuO. Este resultado tuvo una amplia difusión en

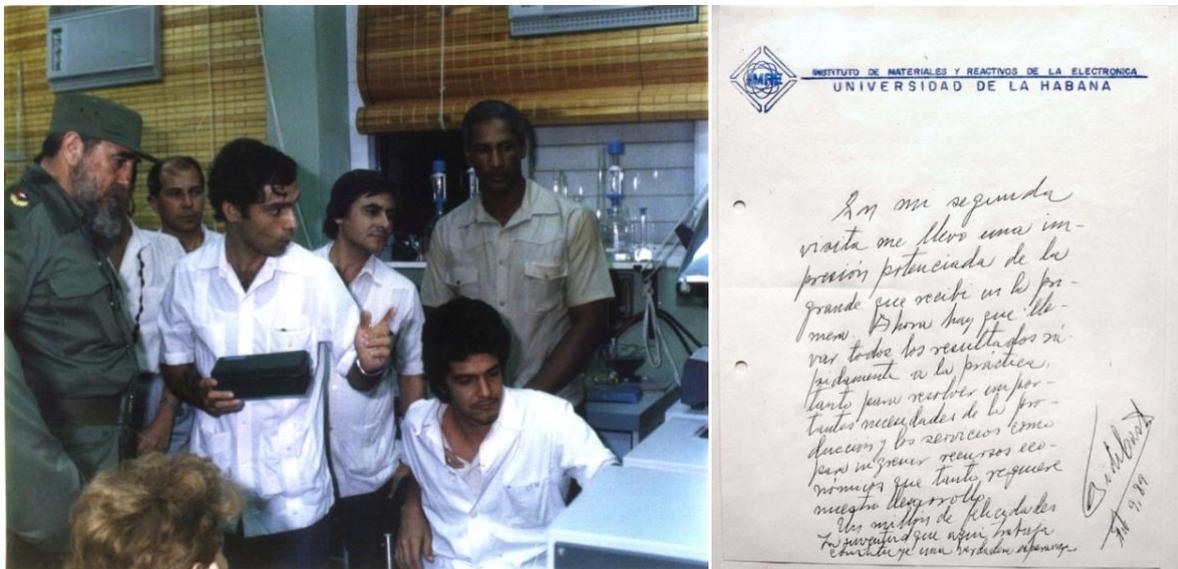
la prensa a principios de mayo, generó numerosas conferencias y seminarios para explicar el nuevo avance y mostró que el IMRE no sólo era capaz de resolver problemas prácticos, sino de obtener resultados científicos de nivel mundial. Al mismo tiempo, abrió una nueva línea de trabajo, que en los primeros tiempos atrajo a una pléyade jóvenes brillantes y logró la asignación de recursos para montar un buen laboratorio e iniciar ambiciosos proyectos. Pocos meses después, también en el CEADEN se obtuvieron cerámicas superconductoras de YBaCuO y se iniciaron investigaciones sobre superconductividad.

Por aquellos tiempos estaba en proceso de adquisición para el Hospital Hermanos Amejeiras (HHA) un tomógrafo de Resonancia Magnética Nuclear, cuyo electroimán superconductor necesitaba ser enfriado con helio líquido. Los directores del IMRE y el HHA propusieron a la dirección del país la adquisición de una planta licuadora de helio y su instalación en el IMRE, que sería responsable de suministrarle el helio líquido a todo el que lo necesitara y podría disponer del mismo para sus investigaciones. El Presidente Fidel Castro, de cuya decisión dependía el financiamiento de la planta, desconfió inicialmente de la eficacia de esa propuesta y en la tarde del 10 de julio de 1987 visitó el IMRE para entrevistarse con su Director. En la reunión participaron también el Rector Dr. Fernando Rojas Ávalos y varios vicerrectores de la UH. El Dr. Leonel Pérez explicó la propuesta, respondió las preguntas del Comandante y le ofreció garantías del cumplimiento de la tarea. Acordados los detalles de la instalación de la planta, Fidel pidió que le mostraran el superconductor que había salido en la prensa. Para ello se trasladaron al edificio de Física, donde radicaba el laboratorio de Magnetismo. El Dr. Sergio García, realizó la demostración experimental del efecto Meissner y respondió a las innumerables preguntas del Comandante acerca de la naturaleza del fenómeno y sus posibles aplicaciones. Al concluir la visita, el Comandante encargó a un ayudante atender al Instituto, identificar las principales necesidades y apoyar la continuidad a las investigaciones sobre Superconductividad. De ahí resultó la construcción del nuevo laboratorio de Superconductividad y la adquisición de equipos por algo más de medio millón de USD. (Ver contribución de O. Arés y E. Altshuler en este volumen)



**Figura 3:** Primera visita del presidente Fidel Castro al IMRE. 10 de julio de 1987.

En la tarde del 9 de febrero de 1989 se produjo una segunda visita al IMRE del Presidente Fidel Castro, la cual comenzó por la ya instalada planta de licuar helio, donde se le montó una exposición general. Posteriormente visitó los nuevos laboratorios de Análisis Químico, Sustancias Especiales y Superconductividad. En esa visita se discutió el plan de crecimiento del IMRE y se aprobaron las obras de lo que hoy constituye el Instituto iniciándose una etapa de desarrollo con gran apoyo del Consejo de Estado.



**Figura 4:** Segunda visita de Fidel Castro al IMRE. 9 de febrero de 1989.

La creación del IMRE fue el resultado de una larga cadena de esfuerzos orientados a dos grandes objetivos. En primer lugar, poner el potencial científico de los profesores y estudiantes universitarios en función, no sólo de la tradicional misión académica, sino

también de las tareas del desarrollo económico del país. En segundo lugar, dotar a la investigación universitaria de la infraestructura, logística y capacidad de gestión necesarias para alcanzar resultados de más alto nivel científico y brindar respuestas rápidas, eficientes e integrales a las demandas de la industria, lo cual, a su vez, influiría positivamente sobre la calidad de la formación de las nuevas generaciones de profesionales y científicos.

#### **4.3.2. El CEDEIC (originalmente BECICPA)**

En el año 1978 fue creado el Buró Especial de Construcción de Instrumentos Científicos con Producción Adjunta conocido por BECICPA con el objetivo indicado en su largo nombre que fue tomado casualmente de un informe donde se hacía referencia a su creación. Correspondió este hecho a la política del CAME de generar interfaces entre los institutos de investigación y la producción para la introducción de los avances de la ciencia y la técnica en la sociedad, en lo cual el campo socialista mantenía un atraso respecto a los países occidentales desarrollados. Esta institución partió de cero en cuanto a infraestructura por lo que los primeros años los dedicó a la solicitud de equipos, materiales y máquinas herramientas para el montaje de los laboratorios y el taller de producción.

Desde el propio inicio se desarrollaron pequeñas series de equipos como ionizadores ambientales y equipos para la electrificación de cercas con el fin de ir entrenando al personal en el proceso de producción de instrumentos y tener resultados de impacto social, su director fue el radiofísico José L. Díaz Morera y en la etapa inicial de creación de la infraestructura necesaria fue muy valioso el aporte de los radiofísicos Justo Ravelo Triana y Oscar Hernández Jiménez, graduados en la URSS.

En el año 1986 el BECICPA cambia su nombre por el de Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC) planteándose 4 objetivos fundamentales:

1. Desarrollar investigaciones relacionadas con el láser y sus aplicaciones en la medicina, industria farmacéutica, alimenticia, electrónica y azucarera.
2. Concebir equipos científicos sobre la base de las investigaciones desarrolladas y lograr su introducción en la práctica.
3. Contribuir a orientar la política nacional relacionada con el láser, la óptica y sus aplicaciones.
4. Desarrollar investigaciones en mecánica y electrónica de alta tecnología.

Atendiendo a estos objetivos se organizó una actividad a ciclo completo de investigación, diseño, producción y comercialización de instrumentos y equipos basados en la óptica y el láser, la electrónica moderna y la mecánica de precisión. Se montaron 4 laboratorios de óptica, un taller de maquinado y otro de montaje de equipos. Todo eso fue instalado en un viejo edificio dentro de La Habana Vieja correspondiente al antiguo colegio de Belén.

A finales de los años ochenta ya el Centro había diseñado, construido e introducido en la práctica social, adicionalmente a los referidos con anterioridad, los siguientes instrumentos ópticos y electrónicos: el LASERMED 1, equipo de fisioterapia y acupuntura láser que permitió sustituir las clásicas agujas de acupuntura en los lugares introducidos,); el polarímetro LASERPOL 1, equipo analítico empleado en la medición de glucosa en orina y que casi no empleaba reactivos químicos constituyendo la alternativa más económica de control de este indicador cuando se realizan análisis masivos, fue introducido en el Centro Antidiabético de Ciudad de La Habana realizando miles de análisis; el polarímetro LASERPOL 101M incorporado en la industria farmacéutica, el Contador de Células empleado en diversos hospitales y policlínicas para el conteo sanguíneo de hasta 100 componentes diferentes y el PARALTEX-1 de gran utilidad para la industria textil para medir la calidad de las fibras empleadas en las confecciones, entre otros instrumentos. En el desarrollo de los equipos de fisioterapia láser jugaron un papel muy activo los físicos José Luis Díaz Morera y Andrés Combarro Romero y en el caso de los polarímetros automáticos, el físico Víctor Fajer Avilay el Ing. Nicolás Duarte Marrero, estuvieron al frente del diseño de los mismos.



LASERMED 1



LASERMED 401M

**Figura 5:** Equipos de fisioterapia y acupuntura desarrollados en el CEDEIC. El LASERMED 1 utilizaba como fuente de luz un láser de He-Ne, se aplicó ampliamente en fisioterapia y pasó pruebas satisfactorias en el Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ). El LASERMED 401M empleaba como fuente un diodo láser infrarrojo.



**Figura 6:** Polarímetro digital automático LASERPOL 101M, introducido en la planta de sueros y hemoderivados de La Habana para el control de la producción de sueros de glucosa y otros productos. Con el mismo se controlaba la mayor parte de la producción nacional de estos productos.

#### **4.4. La física en el programa nuclear: el ISCTN y el CEADEN**

El programa nuclear cubano, tenía como objetivos la construcción, acordada con la URSS en 1976, de una central electronuclear en Juraguá (provincia de Cienfuegos), la introducción de las técnicas nucleares en la economía y la creación de un sistema de protección radiológica y seguridad nuclear. Todo esto implicaba un enorme esfuerzo para desarrollar las ciencias y tecnologías nucleares.

La necesidad de crear una sólida infraestructura para la asimilación de la núcleo-energética y la introducción de la ciencia y las tecnologías nucleares en la economía del país, que abarca las inversiones, la formación de cuadros, las investigaciones, la colaboración y otros asuntos, condujo a importantes decisiones políticas y organizativas.

Como parte de esta reorganización se realizó una evaluación del personal del IFN y se determinó reubicar fuera de la esfera nuclear a un grupo de especialistas considerados no idóneos. Esta decisión fue muy cuestionada, porque condujo a prescindir de personas que ya tenían alguna experiencia, la mayoría de las cuales mostraron después un excelente desempeño en sus nuevas instituciones.

A principios de 1980, se efectuó la reestructuración de la actividad nuclear, para lo cual se constituyó la Comisión de Energía Atómica de Cuba (CEAC). La CEAC coordinaba y controlaba los esfuerzos nacionales de los principales organismos involucrados en la actividad nuclear, y asesora el gobierno sobre la política a adoptar en esa esfera. Esta comisión inter-organismos de la Administración Central del Estado, estaba encabezada por un vicepresidente

del Consejo de Ministros e integrada por los ministros de la Industria Básica y de la Educación Superior, el Presidente de la Academia de Ciencias de Cuba y el Secretario Ejecutivo de la Comisión, quien dirigía, a su vez, la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares (SEAN), organismo encargado de aplicar de modo profesional y sistemático la política trazada.” [Castro Díaz-Balart, 1990, p. 353–354]

Se crearon varias instituciones que servían de soporte científico –tecnológico al programa: el Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN), el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), el Centro de Isótopos (CENTIS), el Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN), el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN), el Centro de Información de la Esfera Nuclear (CIEN).

El programa nuclear contó con la participación de cientos de físicos cubanos, incluyendo al propio secretario ejecutivo de la SEAN, Dr. Fidel A. Castro Díaz–Balart. Los físicos estuvieron presentes en casi todas las instituciones antes mencionadas, especialmente el ISCTN y el CEADEN, y enfrentaron tareas de muy diferente naturaleza en el proceso inversionista, la formación de cuadros, las investigaciones, la creación de servicios especializados y la colaboración internacional. Unos veinte físicos defendieron doctorados en especialidades nucleares en la década.

El programa nuclear se desarrolló en estrecha colaboración con la URSS, los países socialistas europeos y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Los estudiantes e investigadores cubanos tuvieron acceso a excelentes universidades y centros de investigación y a proyectos del OIEA. La participación en el IUIN (Dubna) comenzada a mediados de los setenta, se amplió y alcanzó un altísimo nivel, llegándose incluso a ocupar por un físico cubano, el Dr. Elías Entralgo Herrera, una vice dirección del IUIN.

Durante los años ochenta, cientos de los mejores estudiantes cubanos que concluían la enseñanza media, seleccionados en todo el país, recibieron becas para estudiar especialidades relacionadas con las ciencias y tecnologías nucleares, incluyendo Física Nuclear, en la URSS y otros países socialistas. Durante sus estudios en el exterior eran atendidos por funcionarios que se ocupaban de dar seguimiento a sus resultados docentes y asegurar su formación en las especialidades de interés para el programa cubano. Para garantizar su preparación previa adecuada, se fundó el Instituto Pre Universitario de Ciencias Exactas “Mártires de Humboldt 7” que contaba con un excelente claustro y condiciones materiales. La experiencia de “la Humboldt” se generalizó después a otros 14 (uno por cada provincia) institutos

preuniversitarios vocacionales de ciencias exactas (IPVCE) del país, que han constituido la principal cantera de participantes en las olimpiadas científicas nacionales e internacionales y de estudiantes de carreras de ciencias en las universidades cubanas.

Adicionalmente, en 1981 se fundó en la UH una Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares (FCTN), con el objetivo de preparar especialistas en Física Nuclear, Radioquímica e Ingeniería Nuclear. El núcleo inicial de la Facultad se integró con personal del departamento de Física Nuclear de la propia UH, del ISPJAE y otros centros. Como decano fue designado el Dr. José Roig Núñez un físico formado en la UH y doctorado en la URSS. La FCTN se ubicó en los terrenos universitarios de la Quinta de los Molinos y se inició un proceso de construcción de laboratorios y otras instalaciones. Las primeras graduaciones se produjeron a mediados de la década. Se dio continuidad a la formación de grupos de investigación experimentales y teóricos en Física Nuclear, tecnología de reactores y métodos nucleares de análisis. En 1987 la FCTN se separó de la UH para formar el Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares (ISCTN) adscrito directamente a la SEAN. Como Rector fue designado el Dr. Evelio Bello, un físico doctorado en la URSS.

El Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN), heredero del IFN y el ININ, comenzó sus actividades en 1985, aunque fue inaugurado oficialmente en sus nuevas instalaciones de 5ta y 30, Miramar, el 28 de octubre de 1987, con la presencia del Presidente Fidel Castro Ruz y del Sr. Hans Blix, Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Su objetivo era la realización de investigaciones aplicadas, trabajos de desarrollo, asimilación de tecnologías y servicios científico-técnicos en áreas de apoyo al programa nuclear cubano. Contaba con laboratorios bien equipados de Física del Estado Sólido, Física Nuclear, Radioquímica y Electrónica Nuclear. El Dr. Daniel Codorníu Pujals, un físico graduado en la UCLV y doctorado en la URSS fue designado director.

Entre los logros del CEADEN se destaca la asimilación y desarrollo de técnicas de preparación de compuestos marcados de amplio uso en la medicina y en las investigaciones biomédicas, que permitían sustituir importaciones y ampliar el uso de los radioisótopos en este campo. En tal sentido, a fines de 1988, aún sin disponer de todo el equipamiento necesario, se comenzó a producir la variante gamma del ATP marcado con  $^{32}\text{P}$ , con calidad semejante al de reconocidas firmas, para suministrarla al Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología. Se inició la producción sistemática de insulina marcada con  $^{125}\text{I}$  para

satisfacer la demanda del HHA y se desarrollaron técnicas de marcaje en otro grupo de hormonas.

A partir de 1988 creció considerablemente el desarrollo y la producción de equipamiento electrónico para fomentar el uso de las técnicas nucleares en el país. Se fabricaron 10 radiómetros monocanales, un prototipo de analizador multicanal, dosímetros, un detector de bajo fondo, detectores de radiaciones ionizantes de barrera superficial y otros equipos.



**Figura 7:** Radiómetro monocanal RM-4.



**Figura 8:** Detector de Si de barrera superficial.

Como en muchos países que han desarrollado programas nucleares, aún con fines pacíficos, la necesidad de concentrar enormes recursos y garantizar la seguridad de todos los procesos condujo a que se estructurara un sistema de instituciones y regulaciones específicamente dedicadas a la rama nuclear, que apartaron un tanto a las ciencias “nucleares” de las “no nucleares”. Esto generó tensiones, pues algunos pensaban que se podía sacar más provecho de

la experiencia acumulada e inducir sinergias en otras instituciones, que a su vez se hubiesen beneficiado de los recursos asignados al programa nuclear. Por otra parte, algunos de los nuevos centros de educación e investigación creados duplicaban esfuerzos, de manera que resultados similares o mejores quizás podrían haberse obtenido con menos esfuerzos y gastos materiales. Entre los ejemplos más visibles, está el cierre de la línea de investigaciones en Física Nuclear Aplicada con el consiguiente éxodo de especialistas de la UO y la creación a pocos metros de la UH, donde se estudiaban las carreras de Física y Química, de la FCTN primero y el ISCTN después, para el estudio de las especialidades de Física Nuclear y Radioquímica.



**Figura 9:** Inauguración del CEADEN, 28 de octubre de 1987.

## **4.5. La Física en las universidades**

### **4.5.1. La Facultad de Física de la UH**

Después de un período de 8 años en que los departamentos de Física de la UH estuvieron mezclados con los de otras especialidades en las facultades, primero de Ciencias Exactas y luego de Física, Matemática y Computación, en 1984 se crea la Facultad de Física, continuadora de la Escuela fundada en 1962, ahora bajo la dirección de los doctores Carlos Rodríguez Castellanos (decano), Carlos Trallero Giner y Luis Hernández García (vicedecanos).

Además de los ya mencionados avances de las investigaciones experimentales en Física del Estado Sólido, la creación del IMRE y la participación en el programa de la Electrónica, durante la década de los ochenta se registraron importantes avances en la docencia de pre y postgrado y en las investigaciones en Física Teórica.

Entre 1981 y 1990 se graduaron en la Facultad de Física 204 Licenciados y unos 20 doctores. A finales de la década el claustro contaba unos setenta docentes, más de 30 con su doctorado concluido. Con amplia participación de físicos procedentes de otras instituciones de investigación, producción y servicios, se elaboró el plan de estudios “C” que se mantuvo vigente durante 15 años. Además, la Facultad comenzó a jugar un papel importante en la superación postgraduada de físicos que trabajaban en otras instituciones, especialmente en los institutos pedagógicos, contribuyendo así a elevar la calidad de la formación de los profesores y de la enseñanza de la Física en el nivel medio.

El departamento de Física Teórica, bajo la dirección del Dr. Melquiades de Dios Leyva primero y del Dr. Rolando Pérez Álvarez después, cumplió en 1989 veinte años de fundado. Contaba entonces con 15 docentes, 9 de ellos doctores (5 graduados en la URSS, uno en la RDA y 3 en Cuba). Sólo en ese año, se publicaron 28 artículos en revistas internacionales. Además de impartir con calidad muy reconocida cursos de pre y postgrado de Física Teórica y Matemática, los profesores del departamento atendían una decena de colaboradores procedentes de otras instituciones, fundamentalmente docentes de los institutos pedagógicos, que realizaban sus doctorados bajo la dirección de profesores del departamento. Por estos años comienzan a diversificarse las líneas de investigación del departamento, más allá de la teoría de sólidos, y surgen los primeros trabajos sobre dinámica no lineal y sistemas complejos. En el plano internacional se mantienen vínculos con numerosas instituciones y personalidades de alto nivel en Europa y América Latina. Se destacan el Instituto Físico-Técnico “Ioffe” de Leningrado y el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares de Dubna, la Universidad Humboldt en Berlín, el Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) en Trieste, la Universidad de París- Sud, el Instituto Max Planck de Física del Estado Sólido en Stuttgart, el Instituto de Materiales del CSIC en Madrid y la Universidad de Campinas. Dos profesores fueron electos miembros asociados del ICTP.

Entre 1985 y 1990, la Facultad de Física amplió notablemente sus vínculos con instituciones de Europa y América Latina. Se destaca también el apoyo a las actividades de la Sociedad Cubana de Física, cuyos tres primeros presidentes fueron profesores de la Facultad. Se organizaron varios eventos científicos nacionales e internacionales de alto nivel, entre ellos el X Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido de 1987, que contó con la presencia de más de 200 participantes.

A finales de la década, se construyeron y equiparon, en áreas hasta entonces desiertas del edificio de Física, varios cientos de metros cuadrados de nuevos laboratorios de física y talleres para el IMRE. Además, el edificio fue sometido a una reparación estructural general y los laboratorios docentes fueron reequipados.

#### **4.5.2 La Física en la UO**

Después de un período de 8 años en que los departamentos de Física de la UH estuvieron mezclados con los de otras especialidades en las facultades, primero de Ciencias Exactas y luego de Física, Matemática y Computación, en 1984 se crea la Facultad de Física, continuadora de la Escuela fundada en 1962, ahora bajo la dirección de los doctores Carlos Rodríguez Castellanos (decano), Carlos Trallero Giner y Luis Hernández García (vicedecanos).

Además de los ya mencionados avances de las investigaciones experimentales en Física del Estado Sólido, la creación del IMRE y la participación en el programa de la Electrónica, durante la década de los ochenta se registraron importantes avances en la docencia de pre y postgrado y en las investigaciones en Física Teórica.

Entre 1981 y 1990 se graduaron en la Facultad de Física 204 Licenciados y unos 20 doctores. A finales de la década el claustro contaba unos setenta docentes, más de 30 con su doctorado concluido. Con amplia participación de físicos procedentes de otras instituciones de investigación, producción y servicios, se elaboró el plan de estudios “C” que se mantuvo vigente durante 15 años. Además, la Facultad comenzó a jugar un papel importante en la superación postgraduada de físicos que trabajaban en otras instituciones, especialmente en los institutos pedagógicos, contribuyendo así a elevar la calidad de la formación de los profesores y de la enseñanza de la Física en el nivel medio.

El departamento de Física Teórica, bajo la dirección del Dr. Melquiades de Dios Leyva primero y del Dr. Rolando Pérez Álvarez después, cumplió en 1989 veinte años de fundado. Contaba entonces con 15 docentes, 9 de ellos doctores (5 graduados en la URSS, uno en la RDA y 3 en Cuba). Sólo en ese año, se publicaron 28 artículos en revistas internacionales. Además de impartir con calidad muy reconocida cursos de pre y postgrado de Física Teórica y Matemática, los profesores del departamento atendían una decena de colaboradores procedentes de otras instituciones, fundamentalmente docentes de los institutos pedagógicos, que realizaban sus doctorados bajo la dirección de profesores del departamento. Por estos años comienzan a diversificarse las líneas de investigación del departamento, más allá de la

teoría de sólidos, y surgen los primeros trabajos sobre dinámica no lineal y sistemas complejos. En el plano internacional se mantienen vínculos con numerosas instituciones y personalidades de alto nivel en Europa y América Latina. Se destacan el Instituto Físico-Técnico “Ioffé” de Leningrado y el Instituto Unificado de Investigaciones Nucleares de Dubna, la Universidad Humboldt en Berlín, el Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) en Trieste, la Universidad de París- Sud, el Instituto Max Planck de Física del Estado Sólido en Stuttgart, el Instituto de Materiales del CSIC en Madrid y la Universidad de Campinas. Dos profesores fueron electos miembros asociados del ICTP.

Entre 1985 y 1990, la Facultad de Física amplió notablemente sus vínculos con instituciones de Europa y América Latina. Se destaca también el apoyo a las actividades de la Sociedad Cubana de Física, cuyos tres primeros presidentes fueron profesores de la Facultad. Se organizaron varios eventos científicos nacionales e internacionales de alto nivel, entre ellos el X Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido de 1987, que contó con la presencia de más de 200 participantes.

A finales de la década, se construyeron y equiparon, en áreas hasta entonces desiertas del edificio de Física, varios cientos de metros cuadrados de nuevos laboratorios de física y talleres para el IMRE. Además, el edificio fue sometido a una reparación estructural general y los laboratorios docentes fueron reequipados.

#### **4.5.2 La Física en la UO**

El departamento de Física del ISPJAE creció considerablemente, hasta llegar a contar con más de cien docentes. Era el centro rector nacional para la enseñanza de la Física a los ingenieros y dio un notable impulso a las investigaciones sobre pedagogía y didáctica de la Física. Algunos de sus integrantes estaban vinculados a las investigaciones en el campo de la Microelectrónica en el CIME, centro que tenía un elevado protagonismo en el Programa de la Electrónica. Sin embargo, los principales resultados científicos se alcanzaron en el campo de la Óptica.

En 1975 había surgido en el departamento un pequeño grupo integrado por Angel Augier, Jorge Alum, Beatriz Moreno, Luis Martí y otros, con el propósito inicial de fabricar un láser de colorante. El grupo creció, formó sus primeros doctores en la URSS y con sus primeros éxitos condujo en 1983 a la creación de la Unidad de Ciencia y Técnica de Óptica Coherente, adscrita a la Facultad de Ingeniería Electrónica del IPSJAE, la cual continuó la formación de

doctores y trabajó en el diseño, la construcción y las aplicaciones de láseres, interferometría speckler, holografía y comunicaciones ópticas (Martí 2009).

Entre los principales logros de este colectivo se destaca la fabricación bajo la dirección del Dr. Luis Martí, de dos bisturíes láser de CO<sub>2</sub> de 40 W que fueron utilizados exitosamente en operaciones en el Hospital “Calixto García Íñiguez”. Se construyó una Instalación Tecnológica Láser (ITELA) de 400 W. También se fabricaron láseres de Nd YAG en régimen de generación libre y de sincronismo de modos de rubí con generación libre de pulsos de 0,5 J, así como un conmutador de centros de color para su empleo en holografía.

A partir de un donativo canadiense de láseres de He-Ne de baja potencia y placas AGFA-GAEVERT, se comenzaron los trabajos en holografía. Bajo la dirección de la Dra. Beatriz Moreno, se realizaron aplicaciones prácticas de la holografía a la conservación de objetos de alto valor patrimonial entre los que se destacan los hologramas de Denisiuk de reliquias del General Antonio Maceo, de objetos personales de José Martí y de la medalla de Premio Nobel de Ernest Hemingway. Se montó un laboratorio de holografía en el Museo Nacional de Bellas Artes.

También se realizaron trabajos de ensayo óptico no destructivo de sistemas mecánicos y simulación digital de cuadros de speckler. Bajo la dirección del Dr. Jorge Presmanes se creó un canal experimental de comunicaciones ópticas entre el Capitolio y otros centros de la Academia de Ciencias de Cuba.

#### **4.5.4. Otras universidades**

La reestructuración y ampliación del sistema de educación superior cubano, a finales de los setenta, condujo al surgimiento de decenas de nuevos centros de educación superior especializados en la formación de ingenieros, médicos, agrónomos, profesores, etc. En consecuencia, creció el número de departamentos de Física, encargados de la enseñanza de esta disciplina e integrados mayoritariamente por jóvenes físicos egresados de las universidades o los institutos pedagógicos y también por ingenieros. Con la creación de varias universidades militares, varios profesores de la fuerte cátedra de Física del ITM “José Martí”, algunos de ellos ya con el doctorado concluido, pasaron a otros centros militares o a la vida civil.

Diversos mecanismos contribuían a fomentar los vínculos y el intercambio de experiencias entre estos departamentos de Física: la Comisión Nacional de Física adscrita al MES, otras comisiones unificadoras de planes y programas de estudio, las frecuentes inspecciones

docentes de unos centros a otros, donde los inspectores de hoy podían ser los inspeccionados de mañana, la facultad de superación de profesores adscrita a la UH donde iban a pasar cursos de superación profesores de todo el país, los concursos y foros estudiantiles nacionales, las actividades de la SCF, etc.

Muchos de estos jóvenes profesores de física comenzaron a desarrollar investigaciones relacionadas con el perfil de su institución (tecnológico, agropecuario, médico, deportivo, pedagógico, etc.), otros se vincularon a grupos de investigación en física en las universidades, el CNIC o los institutos de la ACC. Se utilizaron los convenios con instituciones soviéticas para formar sus primeros doctores. Hacia el final de la década, ya se apreciaba un mayor nivel en estos claustros y varios departamentos de Física formaron sus propios grupos de investigación. En el caso de la UCLV continuó la tradición que existía en Física de Metales, pero surgieron nuevos grupos, como el de Física Térmica en la Universidad de Camagüey, los de Dieléctricos y Física Teórica en el Instituto Pedagógico “Enrique José Varona”, el de Física de Suelos en el ISCAH, otro de Física de la Cristalización de Azúcar en la Universidad de Matanzas, etc.

Durante la década de los ochenta, Cuba mantuvo una amplia colaboración civil con Angola, Etiopía y Nicaragua, que incluyó a varias decenas de físicos cubanos que cumplieron honrosas misiones internacionalistas como profesores en las universidades de esos países. El 25 de marzo de 1984 durante la defensa de la ciudad de Sumbe, en Kwanza Sur, República de Angola, donde prestaba servicios como profesor, cayó heroicamente el colaborador cubano Licenciado Héctor Alfredo Pineda Zaldívar, joven profesor de Física del Instituto Superior Pedagógico de la Enseñanza Técnica Profesional, institución que hoy lleva su nombre.

#### **4.6. La física en el CNIC**

A partir de la reestructuración de la Educación superior en 1976, el CNIC dejó de formar parte de la Universidad de La Habana, pero permaneció adscrito al MES y continuó jugando un papel muy importante en la formación de postgrado de los profesores de la educación superior. Aunque dispersa en varias áreas e inicialmente concebida como complemento a las investigaciones químicas y biomédicas, la física en el CNIC, alcanzó en los años 80 personalidad propia y un elevado nivel. Alrededor de 20 físicos trabajaban allí, sin incluir aquellos vinculados a otras instituciones que realizaban parte de su trabajo experimental con equipos del CNIC o los que prepararon allí sus tesis doctorales. Por una parte, se desarrollaron aplicaciones a la explotación y aprovechamiento de los recursos minerales

cubanos, que incluyeron equipos de fluorescencia de rayos X y métodos basados en espectroscopia Mössbauer para la industria del níquel; estudios relativos a los minerales sulfurosos polimetálicos del occidente de Cuba como fuente potencial de In, Ga, Ge y otros metales para la emergente industria electrónica, investigaciones para la utilización de las zeolitas cubanas en remediación ambiental, alimentación animal, tratamiento de suelos, liberación controlada de fertilizantes y medicamentos. Los físicos que trabajaban en el CNIC tenían también presencia en temas de metalurgia (tratamientos superficiales, efectos de la soldadura en las propiedades de aceros, conformación de metales por explosivos) y en estudios sobre la vida útil de los materiales en las condiciones corrosiva del clima tropical, húmedo y costero de Cuba. Dentro de las actividades propiamente biomédicas, en esa década se consolidó el grupo de Neurociencias dedicado a modelar y estudiar la actividad eléctrica cerebral con vistas a desarrollar equipos y métodos de diagnóstico para diferentes patologías. Hasta los primeros años de la década de los 90s, el CNIC dispuso de una amplia infraestructura en equipos de microscopía electrónica, difracción de rayos X, espectrometría de masas, resonancia magnética nuclear, espectroscopia infrarroja, fluorescencia de rayos X, espectrometría Mössbauer y otros, alrededor de los cuales había presencia de físicos y de la cual se beneficiaban muchas instituciones del país. En julio de 1990 el grupo que hacía espectrometría Mössbauer en el CNIC, en colaboración con investigadores de esa área de la UH, organizó la segunda versión de la Conferencia Latino Americana sobre Aplicaciones del Efecto Mössbauer (LACAME 90) con una nutrida participación de investigadores no sólo de la región sino también del resto del mundo. Una muestra del peso que en determinado momento alcanzo la Física en el CNIC es el hecho de que la Revista CNIC, quizás la de más trascendencia y continuidad del país en aquella época, se publicada en tres Series: Biología, Química y Física. Esta última desaparecería a finales de la década, absorbiendo la serie Ciencias Químicas las contribuciones en el área de la Física.

#### **4.7. La Física en la ACC**

##### **4.7.1. El ICIMAF**

En 1986 tuvo lugar la creación del ICIMAF (Instituto de Cibernética, Matemática y Física) a partir de la fusión del Instituto de Matemática, Cibernética y Computación (IMACC) con el Instituto de Investigaciones Técnicas Fundamentales (ININTEF). Los físicos, unos veinte, se concentraban en los grupos de Física Teórica y Ultrasónica, pero también participaban en colectivos multidisciplinarios en las áreas de control automático y electrónica.

El grupo de Física Teórica, dirigido por el Dr. Hugo Pérez Rojas, se dedicaba a las investigaciones en Teoría Cuántica del Campo y sus aplicaciones a la Física de la Materia Condensada, la Física Nuclear, la Física de Partículas y la Astrofísica. Ya había alcanzado un buen nivel, mantenía una estrecha colaboración con el Instituto “Lebedev” de la Academia de Ciencias de la URSS y contaba con más de 30 publicaciones en revistas internacionales. Hacia el final de la década estaba integrado por cinco doctores y varios jóvenes en formación, incluyendo personal de otras instituciones. Como el número de estudiantes que se incorporaban cada año era pequeño, pocas veces se impartieron cursos formales, sino que, cada estudiante recibía un programa y una lista de libros para su autopreparación bajo la supervisión y consejo de un tutor, para después comenzar un trabajo de tesis. Con ese método han venido brindando una formación especializada en Teoría del Campo y materias afines a sucesivas generaciones de físicos cubanos.

El grupo de Ultrasónica se dedicaba al desarrollo de equipos y sensores ultrasónicos para aplicaciones, industriales, médicas y científicas. Relacionado con él surgió por estos años un grupo para la obtención y estudio de cerámicas piezoeléctricas.

#### **4.7.2. El IGA**

En el año 1974 se habían unificado los institutos de Geofísica y de Astronomía de la ACC para dar lugar al Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), que contaba al crearse con 130 trabajadores. Sus temas y proyectos de trabajo se agrupaban en dos problemas principales:

- El estudio del Sol, la ionosfera, la magnetosfera y sus interrelaciones.
- El estudio de los procesos físicos endógenos y la estructura profunda del archipiélago cubano.

En estas dos direcciones se realizaron investigaciones de importancia económica, vinculadas al desarrollo de las comunicaciones, en el primer caso, y a la determinación del riesgo sísmico y la elaboración de mapas magnéticos, gravimétricos y otros.

Hasta 1990, el IGA mantuvo una estrecha colaboración con instituciones homólogas de la URSS y otros países socialistas. Como resultado de esta colaboración se instalaron numerosos equipos, tales como estaciones de registro Faraday, una estación telemétrica para la detección de satélites, estaciones de sondeo inclinado de la ionosfera, una estación de rastreo de satélites, un transmisor de ondas cortas, un analizador espectral y otros.

### **4.7.3. El Centro de Investigaciones de Energía Solar en Santiago de Cuba**

Hemos visto anteriormente la decisión de la ACC de crear un grupo de investigación sobre energía solar en Santiago de Cuba. Su desarrollo dio lugar a la creación del “Centro de Investigaciones de Energía Solar” (CIES) con el objetivo de fomentar los trabajos de ahorro de energía en el país, así como contribuir al desarrollo científico-técnico en las provincias orientales, aprovechando el potencial intelectual que ya se había creado en las universidades.

El CIES fue concebido desde su inicio como un centro de investigación –producción a ciclo cerrado. En 1982 empezó el proceso inversionista, construyéndose un primer edificio y una pequeña área de polígono experimental en su primera etapa. La segunda etapa del proceso inversionista consistió en la edificación del taller de prototipos, los talleres de producción experimental y los laboratorios definitivos, así como la terminación del polígono.

### **4.8. Panorama de la física cubana hacia 1990**

A comienzos de los años noventa, la Física en Cuba había alcanzado un nivel de desarrollo muy prometedor. Además de su importante contribución a la Educación a distintos niveles, la participación de los físicos era significativa en los programas de desarrollo de la Electrónica y de la Energía Nuclear, con una presencia reconocida en colectivos interdisciplinarios relacionados con la Biomedicina, la Meteorología, la Computación y el programa Minero-Metalúrgico.

Como resultado de las tres décadas de trabajo y colaboración internacional aquí descritas, se habían obtenido importantes logros entre los que se destacan los siguientes:

#### **A. Formación y superación de profesionales y científicos**

- Alrededor de 1200 Licenciados en Física se habían graduado en universidades cubanas y extranjeras, más del 10 % de los cuales poseían ya un grado de Doctor en Física, mientras que un número considerable de ellos habían alcanzado un doctorado en otras ciencias técnicas, pedagógicas o naturales.
- Una cifra similar de Licenciados en Educación había egresado de los Institutos Pedagógicos en la especialidad de Física, varias decenas los cuales eran ya doctores en Ciencias Pedagógicas, especializados en la enseñanza de la Física.
- En las Universidades de la Habana y Oriente desde los años sesenta y en el Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares en los ochenta, se habían consolidado programas de formación de físicos que graduaban ya, en su conjunto, unos 60 licenciados cada año.

- Estos programas, fuertemente influidos por la escuela soviética, se caracterizaban por una rigurosa formación básica, tanto teórica como experimental, incorporaban la investigación y, en general, se comparaban favorablemente con la media internacional.
- A todos los Licenciados en Física se les garantizaba una ubicación laboral acorde a su perfil profesional, predominantemente en centros de Educación Superior y de Investigaciones, con menor presencia en la Educación Media. Crecía el número de físicos trabajando en la industria y en instituciones de salud.
- En los años setenta se realizaron las primeras maestrías y en los ochenta, comenzaron a prepararse y defenderse en el país tesis de doctorado.
- También en los Institutos Pedagógicos los programas de estudio y los claustros habían ido elevando paulatinamente su nivel científico, graduando profesores para la enseñanza media mejor preparados en Física.
- El sistema de los IPVCE junto al movimiento de los concursos y olimpiadas constituían una excelente cantera para los estudios superiores. La celebración en Cuba de la XXII Olimpiada Internacional de Física en 1991 constituyó un reflejo de los avances en este campo y un reconocimiento internacional a los mismos.

## **B. Investigación**

- De acuerdo a un informe de la SCF, en 1990 existían al menos 40 grupos con presencia de cinco ó más físicos que realizaban de forma sistemática investigaciones básicas o aplicadas. En estos grupos, localizados principalmente en universidades y centros de investigación, participaban en total unos 400 físicos, incluyendo más de 120 doctores.
- Las áreas de mayor actividad eran la Física de Sólidos, la Física Nuclear, la Óptica, la Física de la Tierra y el Espacio, la Física Matemática, la Física de Campos y Partículas y la Física Médica.
- Había una importante y creciente presencia de físicos en grupos de investigación multidisciplinarios relacionados con la Electrónica, la Computación, la Biotecnología, las Neurociencias, la Meteorología, la Geofísica, la Astronomía, la Ciencia de Materiales, diversas especialidades médicas y otras áreas.
- Predominaban las investigaciones de carácter experimental, orientadas hacia las aplicaciones. El número de publicaciones en revistas internacionales era modesto.

- Aunque no existían facilidades experimentales sofisticadas, se contaba con equipos y suministros suficientes para desarrollar investigaciones experimentales de manera estable, que se complementaban con visitas a laboratorios en el extranjero.
- Algunos logros científicos de resonancia internacional obtenidos en Cuba en la década de los ochenta ilustran el nivel que se había alcanzado. Ejemplos notables de ello son la participación en el experimento Caribe durante el vuelo cósmico soviético-cubano y la obtención de superconductores de alta temperatura crítica poco después de su descubrimiento.
- La Sociedad Cubana de Física, creada en 1978, contaba con unos 500 asociados, publicaba cuatrimestralmente desde 1981 la Revista Cubana de Física y organizaba bienalmente sus congresos y simposios. A finales de la década su Presidente era el Dr. Juan Fuentes Betancourt.
- En el país se desarrollaban regularmente eventos científicos internacionales.

### **C. Relaciones internacionales**

- Se mantenían fuertes lazos de cooperación con instituciones extranjeras de muy alto nivel, especialmente de la URSS, pero también de la RDA, Italia, España, México y Brasil, en el marco de las cuales se formaban y superaban los físicos cubanos, se realizaban investigaciones conjuntas, se obtenía información científico-técnica y se desarrollaba la base material de los laboratorios de investigación y docencia. La fuga de cerebros era un fenómeno casi desconocido.
- Se participaba en las principales organizaciones regionales y mundiales relacionadas con la Física (CLAF, FELASOFI, ICTP, IUPAP, OIEA, ICO.), así como en organizaciones propias de los países socialistas (IUN, programa Intercosmos, etc.).
- En relación con Latinoamérica, sólo Brasil, Argentina y México contaban con mayores recursos humanos y materiales que Cuba en el campo de la Física. Sin embargo, por la calidad de la formación básica de los especialistas, por el predominio de las investigaciones experimentales y aplicadas, así como por el vínculo de los físicos con la producción y los servicios, el desarrollo cubano no era inferior al de los países más avanzados y de mayor tradición en la región.

<b>No.</b>	<b>Institución</b>	<b>Campo de investigación</b>
1	UH. IMRE-Facultad de Física	Láseres semiconductores
2		DELs
3		PV celdas
4		Crecimiento de cristales
5		Láseres de estado sólido
6		Magnetismo y ferroelectricidad
7		Superconductividad
8		Análisis estructural (XRD, EM)
9		Cerámicas
10	UH. Facultad de Física	Teoría de la materia condensada
11	ICIMAF	Ultrasonido
12		Teoría Cuántica del Campo
13		Cerámicas piezoeléctricas
14		Comunicación Óptica y robótica
15	CEADEN	Solid state techniques (DRX, NMR, MBE)
16		Física Nuclear experimental
17		Electrónica nuclear
18		Física Nuclear teórica
19	UCLV	Física de los Metales y soldadura
20	CNIC	Físico Química y métodos de análisis físicos
21		Neurofísica
22	ISCTN	Métodos de análisis nucleares

23		Física y tecnología de Reactores Nucleares
24		Física Nuclear teórica
25	UO	RMN y Física Médica
26		Física del Estado Sólido
27		Física Teórica
28	CEDEIC	Óptica
29		Electrónica
30	Instituto de Geofísica y Astronomía	Sismología
31		Geofísica de la magnetosfera e ionosfera
32		Actividad Solar
33	Meteorología	Física de la Atmósfera
34	ISPJAE	Microelectrónica
33		Óptica
34		Enseñanza de la Física
35	ISPEJV	Dieléctricos
36		Física Teórica
37		Didáctica de la Física
38	Instituto de Oceanología	Oceanología Física
39	UC	Energía térmica
40	CIME	Metalurgia
41	ICID	Microelectrónica
42	Instituto de Metrología	Metrología. Estándares de la Física Cuántica

**Tabla 5:** Algunos grupos de física estables alrededor de 1990.

## **5. La Física en el Período Especial**

### **5.1. El contexto general**

En 1991 comenzó el “Período Especial”: denominación oficial de una larga etapa de crisis económica y privaciones originada por el desastroso efecto que tuvo la desintegración de la URSS y el derrumbe del socialismo europeo sobre la economía y las condiciones de vida de los cubanos. Cuba se tuvo que enfrentar a la súbita desaparición de sus mercados, fuentes de abastecimiento y créditos, así como al recrudecimiento del bloqueo norteamericano mediante las leyes Torricelli (1994) y Helms Burton (1996). En los primeros cuatro años, el PIB descendió más de un 36 % y el nivel de vida de la población disminuyó sensiblemente. A partir de 1995 la economía cubana retomó el crecimiento, pero considerado a precios constantes, sólo en el año 2007 se recuperó el PIB de 1990. [Banco Nacional de Cuba. La economía cubana en el Período Especial, <http://www.bc.gov.cu>].

La crisis dio lugar a una reorganización completa de la economía cubana. Mientras que algunos sectores quedaron virtualmente paralizados, otros como el turismo, la extracción de petróleo, la industria del níquel, la biotecnología y la producción de alimentos recibieron un considerable impulso. La inversión extranjera creció y el país buscó nuevos mercados y fuentes de financiamiento.

Entre las estrategias desarrolladas por el gobierno cubano para enfrentar la crisis se destacó el impulso a las actividades de investigación científica e innovación tecnológica que pudiesen contribuir al desarrollo de los sectores priorizados o a la solución de los apremiantes problemas que enfrentaba el país en todos los aspectos de la vida económica y social. Durante los peores años de la crisis el presupuesto para la ciencia se mantuvo y las inversiones en este sector crecieron, especialmente en el sector de la biotecnología y la industria médico – farmacéutica. Las universidades formaron parte de este proceso y nuevos grupos de investigación a ciclo completo surgieron o florecieron en esta etapa.

Por supuesto que el financiamiento se concentró en pocos sectores y en aquellos proyectos que prometían resultados en el más breve plazo posible. Las restantes actividades científicas se vieron seriamente afectadas por el deterioro de las condiciones de trabajo y de vida y por la pérdida de las relaciones de colaboración con instituciones científicas de la URSS y otros países socialistas. Muchos grupos de investigación se debilitaron o simplemente desaparecieron. Creció el éxodo de científicos hacia otros sectores mejor retribuidos. La colaboración científica internacional se reorientó hacia Latinoamérica, Europa occidental,

especialmente España, y Canadá. Comenzó a incrementarse la fuga y el robo de talentos, fenómeno de poco peso en Cuba hasta entonces. Sin embargo, puede afirmarse que a pesar de las difíciles condiciones de vida y de trabajo que enfrentó, la mayor parte de la comunidad científica cubana realizó un extraordinario esfuerzo para preservar los logros de décadas anteriores e hizo un considerable aporte a la recuperación del país.

Paulatinamente, se fueron poniendo en vigor sistemas de financiamiento que permitían a las instituciones generar recursos para su sostenimiento sobre la base de la comercialización, en el mercado interno o en el exterior, de servicios científico – técnicos, producciones especializadas, asesorías, etc. Además de su aporte a la economía y la sociedad cubana en general, estas actividades han tenido un impacto positivo sobre las condiciones de trabajo y los ingresos de los investigadores. Han conducido a elevar la cultura sobre aspectos que son fundamentales para la innovación tecnológica, como son la protección de la propiedad intelectual, la elaboración de documentación técnica, la implementación de sistemas de calidad, el registro de productos y equipos, la participación en ferias y exposiciones comerciales, etc. Sin embargo, en algunos casos se vieron acompañadas por una reducción de las publicaciones científicas y la formación de doctores, lo cual condujo a un debilitamiento de las investigaciones y a la descalificación de una parte del personal científico.

Como parte de la prioridad dada a la ciencia y la innovación tecnológica, al reestructurarse en 1994 la administración central del Estado cubano, se creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), quedando la Academia de Ciencias de Cuba como un órgano de asesoría y consulta integrado por científicos electos para el ejercicio como académicos por un periodo de cuatro años, retomando la tradición de la primera academia de ciencias cubana, fundada en 1861. El CITMA incorporó una amplia variedad de funciones, incluyendo las actividades de la SEAN, la Oficina Cubana de Propiedad Industrial, de la Comisión Nacional de Medio Ambiente y otras. También implementó un sistema de evaluación, selección, financiamiento y control de proyectos de investigación científica e innovación tecnológica adscritos a programas nacionales, ramales o territoriales que expresaban las prioridades estatales para la Ciencia.

Sin embargo, la prioridad real siguió concentrada en el Polo Científico del Oeste, una red formada por decenas de centros de investigación y producción del sector de la biotecnología y la industria médico – farmacéutica, atendidos y financiados directamente por el Consejo de Estado. Los centros del Polo se convirtieron en importantes exportadores de vacunas,

medicamentos y otros productos, servicios y tecnologías, con un peso creciente en la economía cubana.

Otro foco importante de la actividad de investigación e innovación durante los años noventa fue el Fórum de Ciencia y Técnica (FCT): un movimiento de masas, surgido en la década del 60 como Fórum de Piezas de Repuesto, dedicado a promover la obtención y generalización de soluciones a problemas en distintas esferas de la producción y los servicios. El FCT organizaba eventos anuales a nivel de base (empresas, escuelas, universidades, centros de investigación, etc.), municipio, provincia y nación, en los que participaba más de un millón de personas, incluyendo obreros, técnicos, estudiantes de todos los niveles, profesores, investigadores, etc. Se otorgaban premios a los autores de los mejores trabajos seleccionados por jurados que evaluaban en primer lugar el impacto económico o social del resultado. En su fase nacional, el FCT era objeto de una gran atención por parte del Gobierno y los autores de los resultados premiados a ese nivel recibían importantes estímulos morales y materiales. La mayoría de las instituciones científicas prestaban gran atención a sus resultados en el FCT y el número de premios recibidos constituía una importante medida de su desempeño, a menudo más importante que las publicaciones científicas u otros indicadores tradicionalmente empleados para medir la actividad científica.

De acuerdo con los datos de la Oficina Nacional de Estadísticas (<http://www.one.cu>), en los años finales de la década Cuba contaba con más de 60 000 trabajadores (el 1.15 % de la población económicamente activa) en actividades científicas y tecnológicas (ACT), de los cuales unos 31 000 eran graduados universitarios y más del 50 % eran mujeres. Los gastos corrientes en ACT oscilaban alrededor del 1 % del PIB, la mitad de ellos dedicados a actividades de I+D y provenientes en más del 60 % de financiamiento estatal central y un 30 % de las empresas estatales, con menos del 5 % de financiamiento externo.

## **5.2. La Física cubana ante las nuevas prioridades**

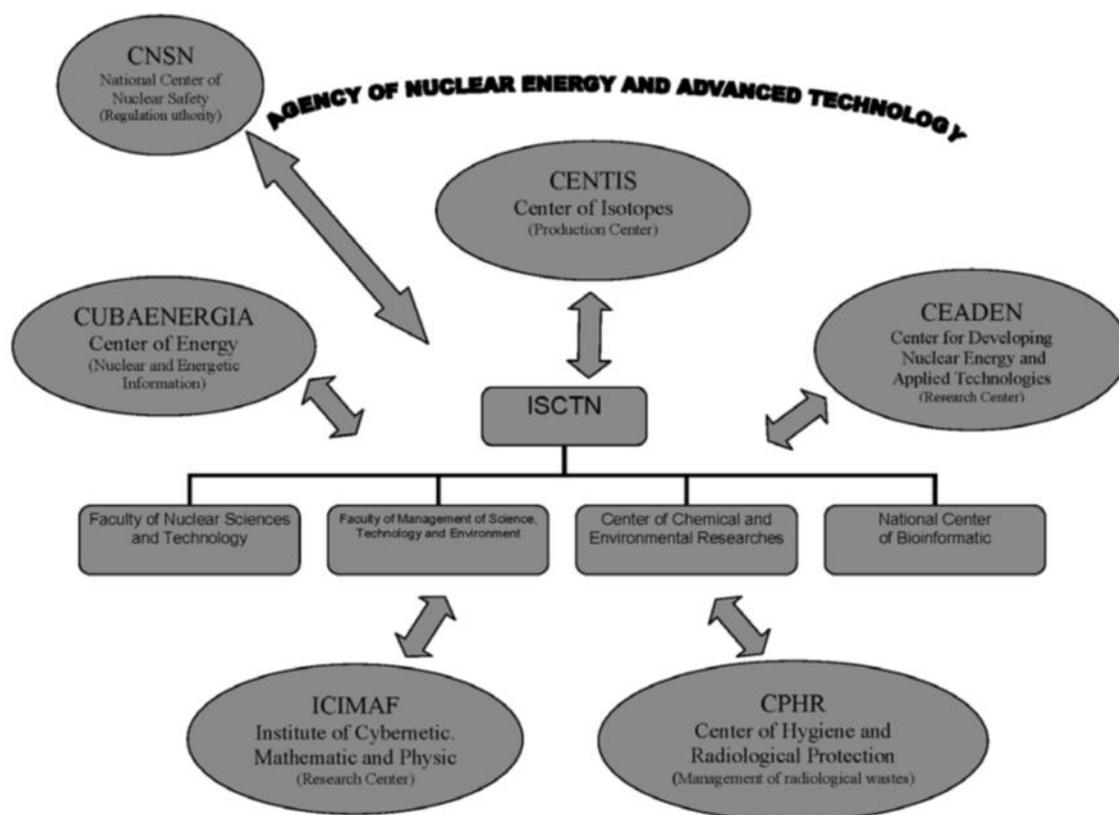
Como se ha explicado, el Programa de la Electrónica y el Programa Nuclear constituían hacia 1990 los principales motores impulsores del desarrollo de la Física en Cuba. Ambos programas habían sido concebidos en el marco de la colaboración con la URSS y el CAME, por lo que a comienzos de la década fue necesario el redimensionamiento y la reorientación radicales de los mismos.

Como resultado de estos cambios y de las nuevas direcciones del desarrollo de la economía para el Período Especial, la Física quedó un tanto fuera de las prioridades de la Ciencia

cubana. Sin embargo, el impulso dado al desarrollo de la Biotecnología y la Industria Médico Farmacéutica constituyó un estímulo importante durante los años noventa.

### 5.2.1. El Programa Nuclear

En el caso del programa nuclear, la construcción de la central electronuclear de Juraguá, Cienfuegos, que era su principal objetivo, fue interrumpida a comienzos de la década y definitivamente cerrada en 1998. La prioridad se trasladó a la aplicación de las técnicas nucleares en otros sectores de la producción y los servicios, especialmente en la salud. Durante estos años se fortaleció la colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica, que contribuyó al financiamiento de numerosos proyectos. En 1994, como parte de la reestructuración de la administración central del estado, la SEAN fue disuelta. Las actividades y centros a su cargo pasaron a la jurisdicción de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnología Avanzada (AENTA) del CITMA, que agrupa a un importante conjunto de instituciones vinculadas a las ciencias nucleares y otras ramas de la Física [Hardy, 2006].



**Figura 10:** Red de centros de la Agencia de Energía nuclear y Tecnología Avanzada.

El CEADEN, el centro de la esfera nuclear más relacionado con la Física, continuó sus investigaciones básicas en Física Nuclear y Estado Sólido, aunque se concentró en la

fabricación de equipos (detectores semiconductores, láseres, medidores de tensiones residuales en soldaduras, medidores de energía y potencia de láseres, densitómetros, etc.) y en la prestación de servicios científico – técnicos de análisis y medición. Años después se unificó (manteniendo su nombre) con el CEDEIC, ampliándose la línea de fabricación de equipos de alta calidad con polarímetros y láseres para acupuntura o fisioterapia, que se introdujeron en la industria y en los servicios de salud nacionales o se exportaron a varios países de la región. El ISCTN continuó la formación de licenciados en Física Nuclear y Radioquímica, ingenieros físicos y energéticos nucleares (hasta 1993) e ingenieros nucleares (de 1993 a 2003). Paulatinamente fue ampliando el perfil de sus actividades docentes y científicas más allá del campo de las especialidades nucleares.

En 1994 se puso en explotación el Centro de Isótopos (Zerguera, 2009), institución científico-productiva que en la actualidad produce más del 80 % de los radioisótopos que se consumen en el país, logrando una importante sustitución de importaciones en los costosos servicios de salud que emplean estos reactivos. Los físicos, junto a otros especialistas, han tenido un importante papel en el desarrollo y establecimiento de los sistemas de medición de los radioisótopos.

### **5.2.2. El programa de la Electrónica**

Cuando se produjo el colapso de la URSS, el Programa de la Electrónica se encontraba en proceso de culminar las principales inversiones iniciadas en la década anterior.

En el combinado de componentes electrónicos (CCE) Ernesto Che Guevara de Pinar del Río y en la fábrica de circuitos híbridos del combinado Copextel en La Habana, donde trabajaban cerca de 40 físicos, la producción de dispositivos semiconductores y circuitos integrados (ciclo 1) se encontraba en su fase de puesta en marcha. La abrupta suspensión de los suministros, la asistencia técnica y los mercados, determinó la interrupción de las labores. Hubo varios intentos de reactivar estas instalaciones poniéndolas en función de producciones que tuviesen suministros y mercados asegurados, pero esto nunca se logró. Incluso a mediados de los noventa, especialistas del IMRE, CCE y Copextel montaron una línea de producción de celdas solares de silicio cristalino con contactos serigráficos, pero no se pasó de una producción experimental, a pesar de que esta fue exitosa. Con el tiempo las instalaciones, ya obsoletas, fueron desmontadas. Poco a poco, el personal fue pasando a otras funciones. En el CCE se realizan actualmente diversas producciones, incluyendo el montaje

de paneles fotovoltaicos para el consumo nacional y la exportación, pero las actividades en microelectrónica desaparecieron.

Un poco mejor suerte corrió las inversiones relacionadas con la producción de equipos electrónicos, circuitos impresos, computadoras y software, que se reorientaron hacia nuevos mercados, especialmente hacia la producción de equipos médicos y otros objetivos relacionados con el desarrollo de la biotecnología, la industria médico farmacéutica y el turismo.

Las actividades de investigación en microelectrónica que se desarrollaban en el ICID desaparecieron en poco tiempo. Esta institución, convertida ya en una empresa, se concentró en el desarrollo y la producción de equipos médicos para el sistema nacional de salud y la exportación. En cuanto al CIME del ISPJAE, sus investigaciones también sufrieron grandes afectaciones, pero se continuó el diseño de sensores microelectrónicos, para su aplicación en microbiología, medicina y otras áreas. También incrementó su actividad docente de pre y postgrado, especialmente a través de sus programas de maestría y especialidad en Electrónica.

En la Universidad de La Habana, las actividades del IMRE y las facultades de Física y Química vinculadas a la Electrónica, sufrieron una afectación considerable. En una primera etapa se desarrolló un gran esfuerzo para transferir al sector productivo cuanto desarrollo tecnológico pudiera contribuir a sustituir importaciones, generar exportaciones o resolver alguna necesidad social. Sin embargo, la falta de suministros y repuestos deterioraron rápidamente las posibilidades experimentales del IMRE y la mayoría de esos esfuerzos resultaron poco efectivos. Paulatinamente, se redujeron los vínculos con las empresas del Frente de la Electrónica, semiparalizadas o dedicadas a otras tareas y se ampliaron con otros sectores, especialmente el de la Salud, al que se prestaron importantes servicios. Se estimuló el desarrollo y fabricación de equipos optoelectrónicos para la industria y la medicina. Se destaca en esa época la fabricación de los láseres PLC para grabado y limpieza de obras de arte, los equipos de fototerapia Fototer y los fotocolorímetros inteligentes Saturomatic y Colormatic para la industria azucarera. Se amplió la actividad de postgrado, mediante Escuelas de Verano Internacionales y otros eventos. Las publicaciones científicas crecieron hasta unas 150 anuales al final de la década. El perfil del IMRE se fue desplazando hacia la Ciencia de Materiales y el énfasis en los dispositivos electrónicos fue disminuyendo, excepto en lo referente a celdas fotovoltaicas y algunos tipos de sensores.

### 5.2.3. La Física y los físicos en el desarrollo de la biotecnología y la industria médico farmacéutica

El rápido crecimiento del sector de la biotecnología y la industria médico – farmacéutica desde finales de los ochenta atrajo a decenas de físicos recién graduados hacia los nuevos centros del Polo Científico del Oeste de La Habana. La mayoría de estos jóvenes continuaron su formación en Biología Molecular y se transformaron en especialistas en este campo, algunos de ellos muy destacados. Entre estos, puede mencionarse al Dr. Rolando Pérez Rodríguez, uno de los líderes científicos del Centro de Inmunología Molecular. Unos pocos se mantuvieron más cerca de su formación original en áreas de investigación relacionadas con técnicas analíticas, modelación y simulación de sistemas biológicos, así como en el desarrollo de software y la fabricación de equipos de diagnóstico o terapia. Se destaca por su impacto económico y social la participación del Dr. Miguel Ángel García Álvarez junto a otros físicos e ingenieros del Centro de Inmunoensayos en la fabricación y sucesivo mejoramiento de los equipos SUMA (Sistema Ultramicroanalítico). Estos equipos, desarrollados inicialmente en el CNIC, han tenido un amplio uso en los programas de pesquiasaje masivo de enfermedades en Cuba y en numerosos países del mundo donde ha llegado la colaboración cubana en el campo de la salud.



**Figura 11:** Izquierda: equipo de resonancia magnética (MRI) de 0.1 Tesla para diagnóstico médico Giroimag 03 diseñado y construido por el Centro de Biofísica Médica de la UO y que presta servicios desde el año 2001 en un hospital de la provincia de Holguín. Derecha: Operación de neumotórax realizada en el Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ) con el bisturí láser cubano de CO<sub>2</sub> LQ25 por los doctores Manuel Cepero y Oscar Suárez [Martí, 2009].

Otras muchas instituciones relacionadas a la Física orientaron total o parcialmente sus esfuerzos hacia las aplicaciones biomédicas. La fabricación de equipos y el desarrollo de software han sido las actividades más frecuentes. Se destaca la creación en pleno período especial (1993), en la ciudad de Santiago de Cuba, del Centro de Biofísica y Física Médica (CBFM) de la Universidad de Oriente, dirigido por el Dr. Carlos Cabal y dedicado a la I+D en

el campo de la Resonancia Magnética y sus aplicaciones biomédicas. Su aporte más relevante fue la fabricación de dos tomógrafos de RMN a campos bajos (0.05 y 0,1 T) para su empleo en instituciones de salud cubanas. A las actividades de este centro se dedica un artículo especial en esta monografía. En el Centro de Neurociencias, entonces adscrito al CNIC, se desarrollaron trabajos de alto nivel en biofísica y neurofisiología. Un pequeño grupo de optoelectrónica, bajo la dirección del Dr. Luis Martí, desarrolló y fabricó dolorímetros, bisturís y vibrómetros láser y realizó otros importantes estudios, que se publicaron en decenas de artículos científicos y contribuyeron a la formación de varios maestros en ciencias y un doctor [Martí, 2009]. En el CEADEN se perfeccionaron los polarímetros LASERPOL, que son hasta el presente el soporte analítico de las mediciones de productos de glucosa en el país. Los equipos de fisioterapia y acupuntura láser se instalaron en numerosos hospitales y policlínicos. Estos y otros nuevos instrumentos concebidos, diseñados y producidos con la participación de físicos cubanos continúan siendo introducidos en Cuba y en otros países a los que llega la colaboración médica cubana.

### **5.3. Panorama de la Física en los noventa**

A finales de la década, se realizaron varios estudios por parte del CITMA, el MES y las sociedades científicas, acerca del estado de las Ciencias Básicas en el país. En lo referente a la Física la caracterización general de la situación que reflejaban esos informes era la siguiente:

#### **5.3.1. La enseñanza de la física y la formación de físicos**

A pesar de las difíciles condiciones, el país realizó un gran esfuerzo para preservar la Educación a todos los niveles. Sin embargo, la enseñanza de la Física en el nivel medio tuvo importantes afectaciones, relacionadas con el éxodo de profesores hacia otros sectores, el deterioro de los laboratorios y medios de enseñanza, la reducción de 600 a 470 de las horas de clases de Física entre los grados 7 y 12 y la eliminación de la Física del grupo de materias a examinar para el ingreso a otras carreras universitarias. Los estudiantes de los IPVCE, continuaron entrenándose y participando con buenos resultados en el sistema de olimpiadas nacionales, iberoamericanas e internacionales de Física, aunque con frecuencia, las dificultades financieras no permitían la asistencia de delegaciones completas a algunos eventos. Cuba fue el primer país del continente americano en organizar una Olimpiada Internacional de Física, al celebrarse en La Habana la edición de 1991. La XXII IPhO contó con el apoyo y la participación de muchos físicos cubanos convocados por el MINED y la SCF, que contribuyeron a la calidad y brillantez de este evento.

Los programas de formación de físicos continuaron desarrollándose. En la década se graduaron 550 físicos en las Universidades de La Habana (243), Oriente (165) y en el ISCTN (110 licenciados y 32 ingenieros físicos). Sin embargo, las graduaciones fueron decreciendo a lo largo de la década como consecuencia de la reducción general de las matrículas universitarias. En el año 2000 se graduaron sólo 30 físicos. Aunque la calidad general de la preparación de estos profesionales se mantuvo, incrementándose sus habilidades en el manejo de las técnicas de computación, su formación experimental se vio afectada por el envejecimiento y falta de renovación de los laboratorios universitarios. El número de tesis de licenciatura puramente teóricas comenzó a crecer. Además, en los programas de formación de profesores de Física para la enseñanza media de los Institutos Superiores Pedagógicos hubo una reducción importante de contenidos, eliminándose la Física Teórica de los planes de estudio, en beneficio de las materias pedagógicas y la práctica pre – profesional.

Como consecuencia de la paralización o reorientación de importantes ramas de la industria, el número de físicos empleados en este sector, que había crecido mucho en la década anterior, disminuyó rápidamente. La mayoría de las universidades y centros de investigación vieron congeladas sus plantillas. El número de físicos en hospitales e institutos de investigación del sector de la Salud solo creció ligeramente. Sin embargo, a pesar de la depresión del mercado de trabajo, el Estado cubano continuó garantizando una ubicación laboral a cada recién graduado mediante la creación de la llamada “reserva científica”, que permitió ubicar provisionalmente recién graduados en facultades universitarias y centros de investigación, pagándoles un salario para que continuaran su entrenamiento profesional sin que gravaran la plantilla del centro receptor.

La creación de un tribunal nacional para la defensa de las tesis de doctorado en Ciencias Físicas permitió uniformar y elevar la calidad de la formación de doctores en Cuba. En la década se graduaron 58 doctores, muchos menos que los 103 de los ochentas, pero el número de tesis defendidas en Cuba creció. En los noventa resurgieron también los programas de Maestría, con aproximadamente un centenar de graduados, muchos de los cuales continuaron sus estudios de doctorado en Cuba o en el exterior.

Hasta el año 2000, el acumulado de físicos graduados desde 1962 era de casi 2000 licenciados (866 en la UH, 377 en la UO, 12 en la UCLV y 230 en el ISCTN, más los graduados en el exterior). Hay que añadir una cifra similar de Licenciados en Educación especializados en Física, graduados en los Institutos Superiores Pedagógicos. El número de doctores en

Ciencias Físicas registrados por la CNGC ascendía a 187. La distribución de doctores por ramas de la Física era la siguiente: Física del Estado Sólido y Materiales: 91; Física Nuclear 26; Física Matemática y Teoría de Campos: 14; Óptica: 12; Geofísica y Astronomía: 12; Meteorología y Física de la Atmósfera: 10; Física Atómica y Molecular: 7; Otros: 15. La edad promedio de los doctores sobrepasaba ya los 50 años. Se estima que unos 200 físicos, incluyendo al menos 30 doctores, emigraron en los años noventa.

### **5.3.2. La investigación científica**

En sentido general, las investigaciones científicas en el campo la Física continuaron con grandes limitaciones. Junto al deterioro del equipamiento de los laboratorios de investigación y talleres, las dificultades para adquirir otros suministros, los recortes de electricidad y otros factores afectaron considerablemente la capacidad de trabajo experimental. De los grupos de investigaciones existentes en 1990, hacia el año 2000 un tercio había desaparecido.

Instituciones como el IGA, que florecieron en el contexto de la colaboración con la URSS, lograron sobrevivir gracias a que fueron capaces de combinar la prestación de servicios científico – técnicos (por ejemplo, participación en consultorías geoambientales locales e instalaciones de tierra física y pararrayos) con la continuidad de sus investigaciones sobre la actividad solar, la ionósfera, el campo geomagnético y el potencial sísmico del archipiélago cubano. En el año 1992 el área de Sismología del IGA se separó para constituir el Centro de Investigaciones en Sismología, con sede en Santiago de Cuba.

Al mismo tiempo, florecieron algunos laboratorios dedicados al desarrollo y construcción de equipos, especialmente en el campo de la Óptica y surgió el ya mencionado Centro de Biofísica y Física Médica de la UO.

El crecimiento de la conciencia ambiental, especialmente después de la Cumbre de Rio de 1992, estimuló las investigaciones de los físicos en diversas instituciones sobre el medio ambiente, particularmente el desarrollo y el desarrollo o utilización de métodos físicos de análisis de muestras ambientales. En la Universidad Agropecuaria de la Habana surgió un grupo de Física de Suelos. También recibieron impulso los trabajos de I+D sobre fuentes renovables de energía, especialmente la energía solar térmica y fotovoltaica, empleo del hidrógeno, baterías de estado sólido, energía eólica y otras. Sin embargo, este estímulo no se manifestó en un apoyo material a la investigación que permitiera dar un salto en este campo.

El progreso en medios de cómputo y la depresión de la física experimental contribuyeron al avance de la Física Teórica. Además de los grupos existentes en Materia Condensada (UH y

UO), Teoría de Campos (ICIMAF) y Física Nuclear (ISCTN y CEADEN), se desarrollaron otros en áreas como Sistemas Complejos (UH), Gravitación y Cosmología (UCLV) y Física Molecular (ISCTN). Estos colectivos participan activamente en la colaboración internacional y muestran buenos indicadores en la formación de doctores y las publicaciones científicas. El apoyo del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP) de Trieste, que había comenzado a mediados de la década anterior jugó un importante papel en el desarrollo de esos grupos.

Aunque pueda parecer paradójico, el número de publicaciones científicas creció hasta alcanzar una cifra del orden de 200 artículos anuales en revistas internacionales. Este incremento está relacionado con la ampliación de la colaboración con colegas de países occidentales, que obligó a los físicos cubanos a prestar más atención a este aspecto, frecuentemente olvidado en beneficio de las aplicaciones prácticas. A pesar de constituir los físicos una parte muy pequeña de la comunidad científica cubana, el número de publicaciones en este campo representa una fracción relativamente alta del total nacional. Lo mismo ocurre con los premios de la Academia de Ciencias, del Fórum de Ciencia y Técnica y otros reconocimientos nacionales o internacionales al trabajo científico.

Durante la década se continuaron organizando con frecuencia eventos científicos nacionales e internacionales, con la estricta condición de autofinanciarse sin generar gastos adicionales al Estado cubano. En la UH, junto a las ya mencionadas Escuelas de Verano de Ciencia de los Materiales del IMRE, se realizaron eventos latinoamericanos de Física de Superficies, Materiales Magnéticos, Óptica (Optilas 1995 y Tecnoláser 1997 y 2000) y Enseñanza de la Física entre otros. La SCF se mantuvo activa, organizando sus simposios y congresos, publicando la Revista Cubana de Física y brindando su apoyo a muchas actividades relacionadas con la Física. A lo largo de la década fueron sus presidentes Carlos Rodríguez Castellanos, María Elena Montero Cabrera y Víctor Fajer Ávila

Como se ha expresado, en los noventa se interrumpieron casi totalmente las relaciones de colaboración que durante tres décadas se desarrollaron con instituciones científicas de muy alto nivel de la antigua URSS y otros países de Europa del Este. Sin embargo, Cuba nunca abandonó sus vínculos con centros latinoamericanos (especialmente de México, Brasil y Argentina) y europeos (España, Alemania, Italia, ICTP entre otros), algunos de ellos surgidos desde los años sesenta, que en las nuevas circunstancias cobraron mayor relevancia, se ampliaron y jugaron un importante papel en la supervivencia de la Física cubana. En el año 2000 se restablecieron los contactos con la APS. Con el apoyo activo del Premio Nobel de

Física Leon Lederman y del Director de Relaciones Internacionales de la APS Irvin Lerch se firmaron acuerdos de intercambio entre la APS y la SCF.

Algunas impresiones externas sobre la Física cubana a finales de siglo XX pueden encontrarse en los artículos de J.L. Morán López (Physics Today, october 2000, p.38) y de A. M. Cetto et al (World Science Report, UNESCO, 1998), así como en los comentarios publicados después de sus visitas a Cuba por Irving Lerch (directivo de la APS) y Marcelo Alonso en el número de agosto/septiembre de 2002 de APS News, que se reproducen en este volumen.

## **6. Comienza el siglo XXI**

La primera década del nuevo siglo presenta un balance contradictorio y algunas perspectivas alentadoras con respecto al desarrollo de la Física en Cuba. Por una parte, algunos efectos acumulados del Período Especial se hicieron sentir con más fuerza. Por otra, aparecieron signos de recuperación y una mayor capacidad del Estado cubano para destinar recursos al desarrollo, hacia mediados de la década, cuando la economía llegó a crecer en un 12,6 % (2006). No obstante, los efectos de los huracanes que devastaron al país en 2008 y el impacto negativo de la actual crisis económica internacional, ponen en peligro la continuidad de estos esfuerzos.

### **6.1. La enseñanza de la Física y la formación de físicos**

En la educación media, la tendencia predominante fue al deterioro de la calidad de la enseñanza de la Física y de las Ciencias en general. Muchos profesores experimentados abandonaron las aulas. La introducción masiva de teleclases y otras técnicas modernas no resultó todo lo efectiva que se esperaba. La formación de profesores especializados en Física virtualmente desapareció. Los laboratorios de Física de los institutos preuniversitarios dejaron de existir. La ausencia de la Física en los exámenes de ingreso a las universidades restó prioridad al estudio de esta materia.

Como puede apreciarse en la tabla que sigue, durante los cursos académicos comprendidos entre los años 2008 y 2010, se produjo una severa reducción del número de horas dedicadas a la enseñanza de la Física en el nivel medio de enseñanza. Incluso, los contenidos de Física que se impartían en los grados 8 y 9 se diluyeron en una asignatura de Ciencias Naturales. Aunque los números totales aún se comparan positivamente con la media internacional, estos cambios representaron un retroceso en relación con lo alcanzado en décadas anteriores.

<b>Períodos</b>	<b>7<sup>mo</sup></b>	<b>8<sup>vo</sup></b>	<b>9<sup>no</sup></b>	<b>10<sup>mo</sup></b>	<b>11<sup>no</sup></b>	<b>12<sup>mo</sup></b>	<b>13<sup>ro</sup></b>	<b>Total</b>
<b>1967–1974</b>	80	80	110	110	110	110	110	710
<b>1975–1986</b>	80	80	80	120	120	120	–	600
<b>1987–1989</b>	80	80	80	117	117	117	–	591
<b>1990–1993</b>	80	80	80	110	160	126	–	636
<b>1994–1999</b>	80	80	80	110	140	104	–	594
<b>2000–2004</b>	–	120	120	110	140	104	–	594
<b>2005–2008</b>	–	120	120	92	126	172	–	630
<b>2008–2009</b>	–	41*	49*	84	138	196	–	508
<b>2009–2010</b>	–	41*	49*	82	123	90	–	485
<b>2010–2011</b>	–	41*	49*	78	117	58	–	343
<b>2011–2012</b>	–	74	111	78	117	58	–	438

\* Estas horas corresponden a contenidos de Física dentro de una asignatura denominada Ciencias Naturales.

**Tabla 6:** Horas de clases de Física en la Secundaria Básica (grados 7,8 y 9) y el Preuniversitario (grados 10, 11, 12 y 13) desde 1967 hasta el presente.

A finales de la década se aprecia un esfuerzo nacional por recuperar los niveles perdidos. El principal problema no radica ya en las horas de clase, sino en la falta de suficientes profesores con la preparación adecuada. Recuérdese que en Cuba la enseñanza general es gratuita y obligatoria hasta el grado 9 y que la gran mayoría de los jóvenes cubanos cursa 12 grados, bien en el preuniversitario, bien en programas de formación de técnicos medios, maestros, instructores de arte, etc. Se han confeccionado nuevos programas de estudio de los Institutos Superiores Pedagógicos para formar con mayor rigor y calidad a los Licenciados en Educación que ejercerán como profesores de Matemática y Física. Se ha iniciado también la recuperación y re-equipamiento de las aulas – laboratorio para la enseñanza de la Física en los institutos preuniversitarios. Los estudiantes con interés en ingresar a las carreras de ciencias están cursando el grado 12 en las universidades, lo cual ha tenido un impacto positivo en su preparación.

Se ha continuado incentivando la participación de estudiantes cubanos en los concursos nacionales y en las olimpiadas iberoamericanas e internacionales, alcanzándose en general buenos resultados, como muestra la tabla siguiente.

Olimpiadas Iberoamericanas					
Año	Participantes	Oro	Plata	Bronce	Mención
2000	4	2	1	1	–
2001	4	2	2	–	–
2002	4	3	–	1	–
2003	4	4	–	–	–
2004	4	2	1	1	–
2005	4	1	2	1	–
2006	4	1	2	1	–
2007	4	–	1	2	1
2008	4	1	2	1	–
2009	4	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>2</b>

Olimpiadas Internacionales					
	Participantes	Oro	Plata	Bronce	Mención
2000	5	–	–	–	1
2001	5	–	–	–	–
2002	4	–	1	1	1
2003	1	–	–	–	1
2004	1	–	–	1	–
2005	4	–	–	–	2
2006	1	–	–	–	–

2007	1	–	–	–	–
2008	1	–	–	1	–
2009	1	–	1	–	–
Total	24	–	2	3	5

**Tabla 7:** Resultados de los estudiantes cubanos en Olimpiadas de Física en la última década.

En la educación superior, el número promedio de físicos graduados fue poco más de treinta por año (127 en la UH, 65 en la UO y 124 en el INSTEC), mucho menor que en la década anterior.

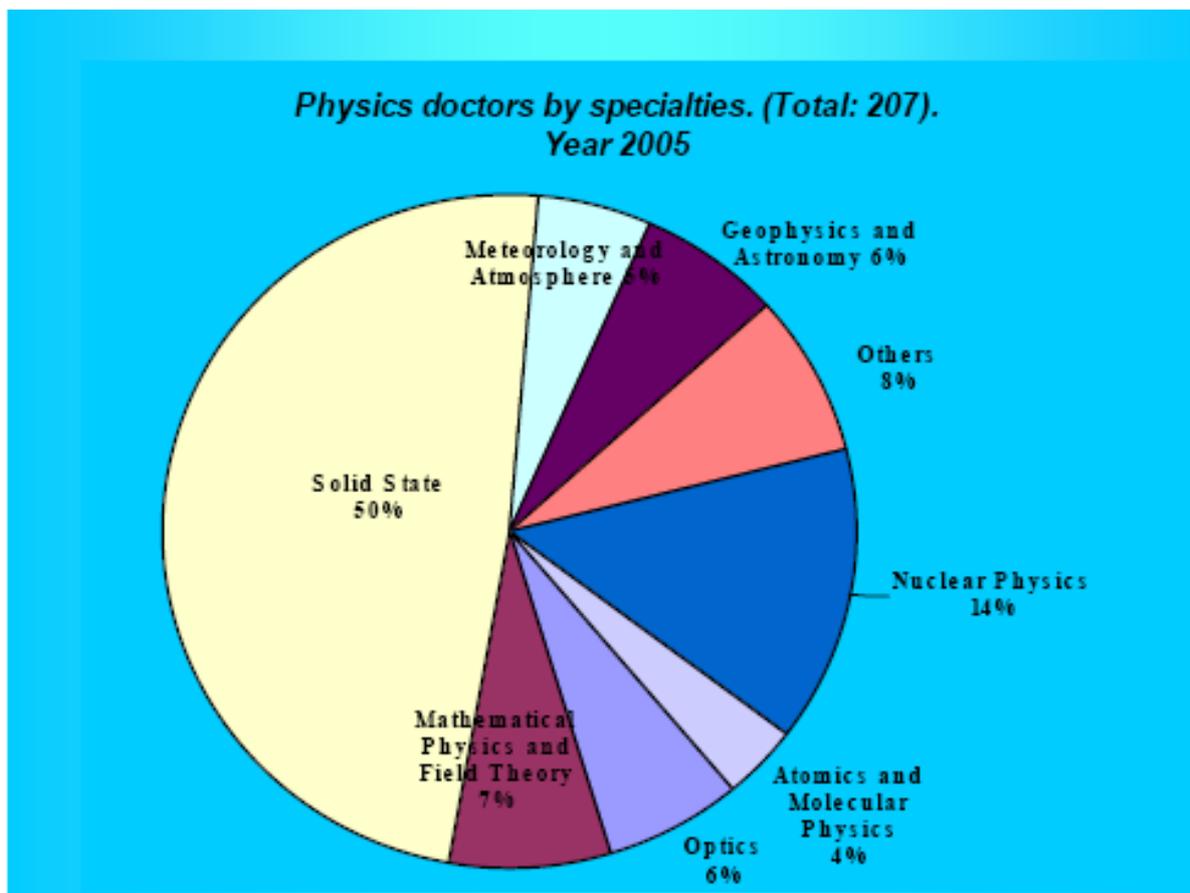
<b>Año Académico</b>	<b>UH</b>	<b>UO</b>	<b>INSTEC</b>	<b>UCLV</b>	<b>Total</b>
2000 – 2001	22	9	7 LFN + 5 IN	–	43
2001 – 2002	9	8	8 LFN + 8 IN	–	33
2002 – 2003	20	7	12 LFN + 9 IN	–	48
2003 – 2004	9	6	8	–	23
2004 – 2005	10	5	4	–	19
2005 – 2006	11	6	8	–	25
2006 – 2007	4	6	13	–	23
2007 – 2008	14	5	12	–	31
2008 – 2009	14	8	12	–	34
2009 – 2010	14	5	18	–	37
TOTAL	127	65	106 LFN + 18 IN	–	316
ACUMULADO	993	442	354	12	1801

**Tabla 8:** Físicos graduados en universidades cubanas. LF (Licenciados en Física); LFN (Licenciados en Física Nuclear); IN (Ing. Nucleares).

Desde 2005 se pusieron en práctica requisitos especiales de ingreso a la Licenciatura en Física, que estimulan la mejor preparación y selección de los estudiantes de nuevo ingreso. En el año 2007 se abrió la carrera de Ingeniería Física en la UH y en la UO, así como la

Licenciatura en Física en la UCLV “Martha Abreu”. Estas medidas han tenido un modesto efecto positivo (cuantitativo y cualitativo) sobre las matrículas, pero aún no han tenido impacto en las graduaciones. Más aún, la decisión de hacer corresponder las matrículas universitarias con la demanda social explícita de profesionales pudiera conducir al cierre de carreras de poca tradición como la Ingeniería Física. En años recientes se han adquirido grandes cantidades de equipos chinos para renovar los laboratorios docentes de física en todas las universidades. Sin embargo, el deterioro de los laboratorios de investigación ha debilitado la formación experimental de los estudiantes de Física y continuó aumentando la proporción de tesis de licenciatura puramente teóricas.

Han continuado desarrollándose los programas de maestría y doctorado, cuyo nivel se mantiene acorde con los patrones internacionales. Generalmente, la realización de un doctorado, aun cuando la defensa de la tesis se realice en Cuba, supone una estancia en el extranjero durante un año o más, para completar el trabajo experimental a un nivel adecuado, tener acceso a toda la información necesaria, etc. De acuerdo a los datos de la CNGC, del 2001 al 2010 se graduaron 61 doctores, una media de 6 por año, cifra algo superior a la del decenio anterior. Más de la mitad de las tesis (34) correspondieron al área de materia condensada. Si se tiene en cuenta el éxodo de al menos medio centenar de doctores durante las últimas dos décadas y el arribo a la edad de jubilación de buena parte de los graduados en los años setenta y ochenta, el ritmo actual de graduación no garantiza la reproducción de los recursos humanos de alto nivel formados en el campo de la Física.



**Figura 12:** Distribución por especialidades de los doctores en Física registrados hasta 2005 por la Comisión Nacional de Grados Científicos. No incluye a los que obtuvieron su grado en el extranjero y no lo homologaron en Cuba.

Como se ha señalado la formación de físicos se desarrolla actualmente en la UH, la UO, el INSTEC y en la UCLV.

La Facultad de Física de la Universidad de La Habana continúa siendo la institución cubana más grande y representativa en el campo de la Física. En el año 2002 celebró el 40 aniversario del inicio de la Licenciatura en Física en el país. Cuenta actualmente con unos 60 docentes, de los cuales un 50 % son doctores. Desarrolla los programas de pregrado de Licenciatura e Ingeniería Física, los de maestría y doctorado en Ciencias Físicas y atiende la enseñanza de la Física a las restantes carreras de Ciencias Naturales de la UH. Ha diversificado sus líneas de investigación y cuenta actualmente con grupos de trabajo en Materia Condensada, Física Atómica, Sistemas Complejos, Biofísica, Física Estadística, Electrónica y Enseñanza de la Física, todos con buena producción científica y activa participación en la colaboración internacional. Se ha destacado por sus publicaciones, la formación de doctores y por los premios o reconocimientos científicos nacionales e internacionales alcanzados. Desarrolla una

amplia labor de extensión cultural a través de las cátedras de “Física y Música”, “Energía Solar” y de Cultura Científica “Félix Varela”.

También en la Universidad de La Habana y estrechamente vinculado a las facultades de Física y Química se encuentra el IMRE, centro de investigación que en el año 2005 cambió su nombre oficial por el de Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales. Hoy cuenta con unos 50 investigadores (en su mayoría físicos, químicos e ingenieros) y una cantidad similar de docentes adjuntos. Entre unos y otros hay 30 doctores en Física que trabajan en laboratorios de tecnología láser, análisis estructural, energía solar, zeolitas e ingeniería molecular, así como en áreas tradicionales de la Física del Estado Sólido (semiconductores, magnetismo, ferroelectricidad y superconductividad). Desarrolla programas de maestría y doctorado en Ciencia de Materiales. Aunque la actividad experimental está muy deprimida, gracias a una amplia colaboración internacional el IMRE cada año publica un centenar de artículos científicos, gradúa maestros en ciencias y doctores, desarrolla varios proyectos de innovación con la industria y otras instituciones, así como un amplio trabajo de divulgación y popularización científica. Recientemente el MES ha destinado importantes fondos para la creación en el IMRE de un laboratorio de servicios analíticos para las universidades (proyecto LUCES) que podría ser de gran ayuda para físicos, químicos y otros especialistas que trabajan en el área de materiales.

El edificio donde se localiza la Facultad de Física de la UH y gran parte de los laboratorios del IMRE, fue clausurado para su restauración y remodelación. Esto ha obligado a dispersar las aulas, oficinas, laboratorios y talleres por toda la universidad y a trabajar en condiciones especialmente difíciles. Se confeccionó un excelente y ambicioso proyecto, que en la actualidad se ejecuta lentamente, en medio de las dificultades financieras del momento.

El departamento de Física de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Oriente está integrado actualmente por 25 profesores, 10 de ellos doctores. Atiende la enseñanza de la Física en las especialidades de Ciencias Naturales, incluida la carrera de Licenciatura en Física. Cuenta con grupos de investigaciones en Ciencia de Materiales, Superconductividad, Holografía Digital y Enseñanza de la Física. En la UO existe otro departamento de Física encargado de la enseñanza de la Física para las carreras de Ingeniería. También hay una presencia importante de físicos en dos centros de investigaciones de esa universidad: el Centro de Biofísica y Física Médica y en el Centro de Electromagnetismo Aplicado.

El departamento de Física de la UCLV cuenta hoy con 19 profesores, 9 de ellos doctores, que atienden la enseñanza de la física en las carreras de Ciencias Naturales, Técnicas y Agropecuarias, de esa universidad, incluyendo a un pequeño grupo de 25 estudiantes de Licenciatura en Física. Desarrolla investigaciones en tres áreas: Gravitación y Cosmología (incluyendo Astrobiología), Física de Materiales y Enseñanza de la Física. También hay presencia de físicos en el Centro de Investigaciones de Soldadura de esa universidad.

El ISCTN, que en 2003 fue rebautizado como INSTEC (Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas) ha sido una universidad adscrita al CITMA, que a partir del año 2011 se adscribirá al MES, Además de la Licenciatura y la Maestría en Física Nuclear, se desarrollan programas de pre y postgrado, no necesariamente relacionados con las especialidades nucleares. En el año 2005 se inició allí la carrera de Meteorología. En el INSTEC trabajan 46 físicos, de los cuales 11 son doctores. Ha continuado la formación de Licenciados en Física Nuclear, aunque en la práctica se trata de físicos con un perfil amplio que una vez graduados pueden trabajar en cualquier área de la Física. Las investigaciones también han diversificado su perfil, que incluye la física nuclear, la física atómica y molecular, así como la aplicación y el desarrollo de técnicas nucleares para la salud, la industria y la protección del medio ambiente.

## **6.2. Investigaciones**

Como se ha señalado, a finales de los noventa se realizaron varios análisis acerca del estado de las Ciencias Básicas en el país. Siguiendo recomendaciones de estos estudios, el CITMA organizó varios programas de ciencia e innovación tecnológica con el objetivo, entre otros, de apoyar las investigaciones en Física, Química y otras ciencias básicas: el programa “Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada”, el programa “Investigaciones Básicas en Física, Química, Matemática y Ciencias de la Computación”, el “Programa Ramal Nuclear”, que cuenta también con respaldo de la OIEA, y el programa de “Óptica y Láser”. Esto permitió financiar algunas actividades científicas, fomentó la cooperación entre instituciones que trabajan en temáticas afines y le otorgó a las investigaciones en Física un mayor reconocimiento entre las prioridades oficiales. Sin embargo, el financiamiento asignado por este tipo de programa es muy modesto, solo una pequeña cantidad en moneda fuerte, por lo que contribuye muy poco a mejorar la capacidad de investigación de los grupos participantes.

Un área de oportunidades, con amplia presencia de físicos, que recibió algún estímulo en los últimos años es la de las fuentes renovables de energía, especialmente de la energía eólica,

solar térmica y fotovoltaica. Proyectos de Física encontraron también espacio en otros programas nacionales como “Cambio Climático” y “Energías Renovables”. Los servicios meteorológicos, a cuyo establecimiento y desarrollo los físicos han hecho una importante contribución, fueron fortalecidos con la instalación de nuevos equipos. Especialistas cubanos participaron en el panel internacional sobre Cambio Climático galardonado con el Premio Nobel de la Paz.

**Mapa de distribución de la densidad media anual del flujo de energía del viento en Cuba estimado a 50 m de altura.**

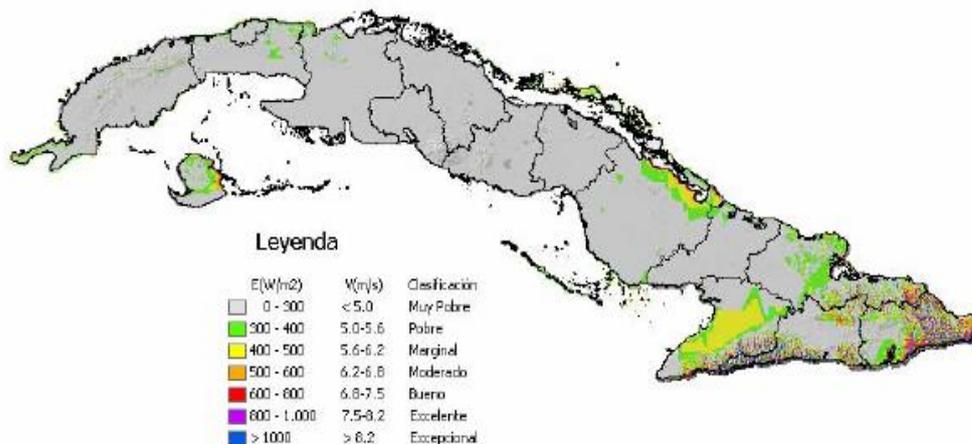


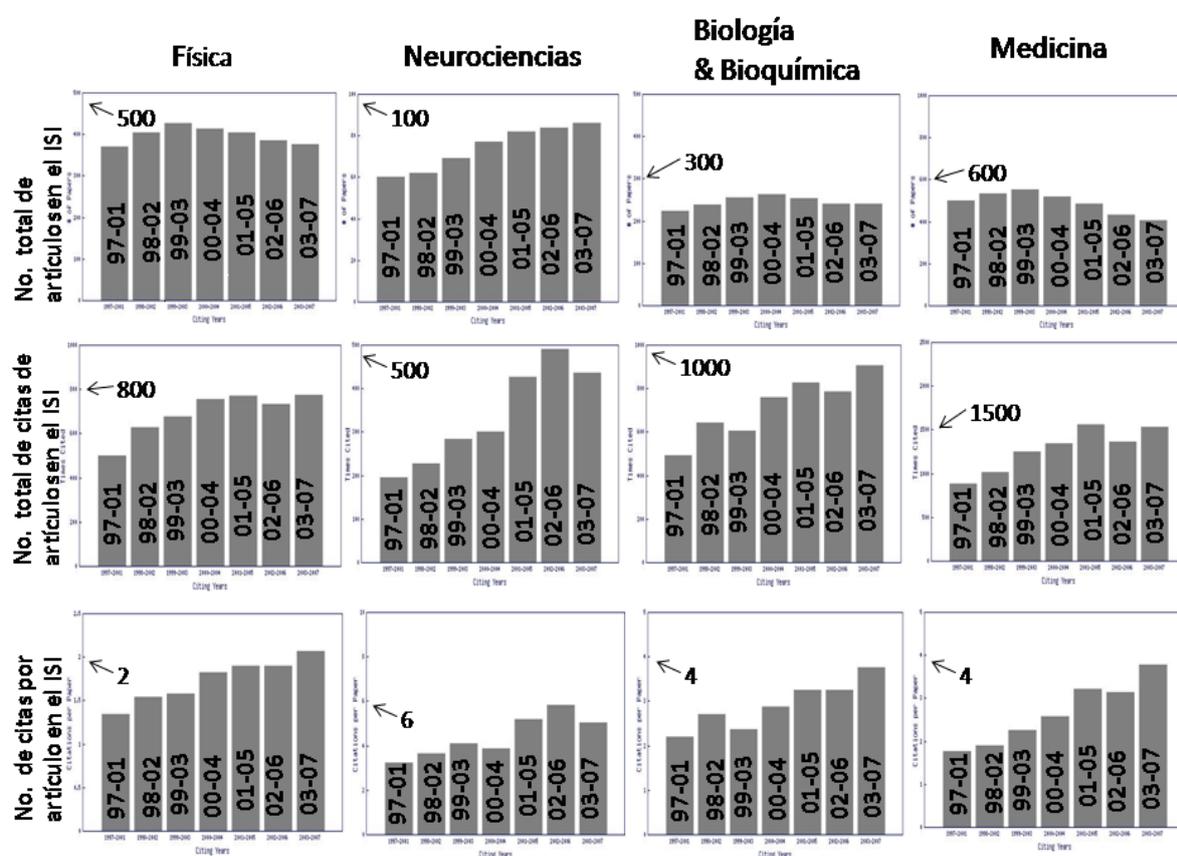
Fig. 8. The Meteorology Institute with the collaboration of other national institutions finished recently the first edition of the Cuban Eolian Map employing the micro scale model elaborated by the Danish National Laboratory RISO (widely employed all over the world) using the direction and velocity wind data of 49 meteorological national stations with 30 years data series.

**Figura 13:** Primera edición del mapa eólico de Cuba.

En sentido general, los grupos de investigación de mayor tradición en la UH, la UO, el ICIMAF, el CEADEN y otros se han mantenido activos. Otros colectivos más jóvenes como el grupo de Física Atómica y Molecular del INSTEC, el grupo de cosmología y gravitación de la UCLV, la cátedra de sistemas complejos “Henri Poincaré” y el laboratorio de tecnología láser en la UH, muestran una actividad creciente. Del crecimiento de la Física Médica y las Nanotecnologías se tratará en párrafos aparte.

El número de publicaciones en revistas internacionales, que creció en los noventa, ha permanecido estancado en unas 200 al año. Un ranking mundial de publicaciones y citas por países o territorios elaborado en 2007 por “The Thompson Corporation” situaba a Cuba en el

lugar 66, con 796 publicaciones y 2663 citas en revistas indexadas de Física los últimos diez años, por detrás de Brasil, México, Argentina, Chile, Colombia y Venezuela. Se estima que los físicos cubanos publican una cantidad similar o quizás mayor de artículos en revistas correspondientes a otras disciplinas o de áreas interdisciplinarias como la Ciencia de los Materiales. Aun así, la presencia de la Física en los premios de investigación anuales que concede la ACC y otras instituciones sigue siendo relativamente alta, quizás porque otras ramas de la Ciencia confrontan problemas similares. Una búsqueda reciente muestra que Cuba publicó en 1997–2007 más artículos en revistas ISI de Física que de Biología, Bioquímica y Neurociencias juntas, aunque menos que en Medicina. Sin embargo, el número de citas por artículo en todos estos campos es mayor.



**Figura 14:** Publicaciones cubanas en revistas ISI de Física, Biología – Bioquímica, Neurociencias y Medicina entre 1997 y 2007.

En la mayoría de las áreas de la Física, la investigación experimental está muy deprimida y en muchos casos subsiste solo gracias a la colaboración internacional. No se trata exclusivamente de la carencia de equipos grandes y costosos, sino del suministro de materiales, gases industriales, reactivos, dispositivos electrónicos y otros insumos necesarios

para el trabajo experimental, del acceso a servicios técnicos, de las restricciones al consumo eléctrico, etc. Si a esto se suma que en las últimas dos décadas se produjo en el mundo un importante salto cualitativo en el equipamiento científico, se concluye que el retraso tecnológico de la Física experimental cubana es hoy muy grande. Aunque el acceso a la información de revistas electrónicas y bases de datos especializadas se ha ampliado por diversas vías, su uso se ve limitado por la baja velocidad de las conexiones a Internet. Se espera que a partir del 2011 el país se conecte mediante un cable submarino y mejore la calidad de los servicios correspondientes.

Los laboratorios con mejores condiciones de trabajo entre los físicos experimentales continúan siendo los dedicados al desarrollo y fabricación de equipos, ya que la comercialización de los mismos les permite obtener recursos para continuar su actividad. Por ejemplo, el Laboratorio de Tecnología Láser del IMRE ha tenido éxito en el desarrollo de sistemas basados en láseres de estado sólido para grabado, limpieza de superficies, desespinado, análisis de muestras ambientales, pinzas ópticas y otras aplicaciones, por los que ha recibido numerosos reconocimientos nacionales e internacionales. Estos desarrollos y su transferencia o comercialización le han permitido obtener financiamientos en moneda fuerte para desarrollar la infraestructura y equipamiento del laboratorio. También los laboratorios del Centro de Inmunoensayos y del CEADEN se han beneficiado con los resultados de la comercialización de sus equipos y cuentan con áreas productivas con tecnología mecánica, montaje electrónico, equipos de medición de referencia y tecnología óptica.



**Figura 15:** Laboratorio de tecnología láser del IMRE. Lanceta para la extracción de sangre sin contacto y sistema para limpieza de superficies.

La Física Teórica ha continuado su desarrollo. El departamento de Física Teórica de la UH se ha renovado y ha ampliado su trabajo de investigación y postgrado en Física Estadística y Sistemas Complejos, además de la tradicional línea de Materia Condensada. En el año 2005

organizó una conferencia latinoamericana sobre aplicaciones interdisciplinarias de la Mecánica Estadística. Hoy cuenta con 15 integrantes, 6 de ellos doctores, mientras que los restantes son jóvenes que trabajan en su doctorado. Además, varios estudiantes y colaboradores de otras instituciones realizan sus tesis de licenciatura, maestría o doctorado en el departamento. En el INSTEC, el grupo de Física Atómica y Molecular ha incrementado las publicaciones, la formación de doctores y la organización de reuniones científicas internacionales de Fotodinámica. El grupo de Gravitación y Cosmología surgido en 1999 en la UCLV “Martha Abreu” también ha experimentado un rápido desarrollo. Ha formado tres doctores, publica regularmente sus trabajos en revistas internacionales especializadas, edita un boletín de divulgación llamado “Correo de Gravitación y Cosmología”, participa activamente en la colaboración internacional y ha organizado dos eventos internacionales en este campo. El grupo de Física Teórica del ICIMAF ha continuado sus investigaciones en Partículas y Campos y también en Materia Condensada. Desarrolla una amplia colaboración nacional e internacional y contribuye la formación de postgrado en Física Teórica de jóvenes físicos de otras instituciones nacionales. Gracias a su iniciativa, Cuba ingresó como el miembro 29 del proyecto ALICE de Física de Altas Energías del CERN, participando el ICIMAF y el CEADEN en el trabajo experimental y teórico. Con el apoyo del ICTP ha organizado cuatro talleres caribeños de Mecánica Cuántica y una escuela sobre Teoría de Cuerdas. Se ha propuesto su transformación en una Cátedra de Física Teórica de carácter regional. Todos estos grupos han recibido durante la década varios premios otorgados por la ACC.

En otra institución de larga trayectoria, el Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA) laboran actualmente unas 120 personas, incluidos 76 técnicos, distribuidos en cuatro departamentos: Astronomía, Geofísica Espacial (que incluye física ionosférica), el Medio físico (que incorpora estudios del suelo, el agua, la contaminación, etc.) y Geofísica Regional (con estudios sobre el campo gravitacional y magnético terrestre, su conductividad eléctrica, etc.). El departamento de Astronomía cuenta con nueve astrónomos y 11 ingenieros o técnicos. Sus principales áreas de trabajo continúan siendo la radioastronomía y la espectroscopia óptica solar, la observación de satélites, así como varios problemas de astronomía computacional. En relación al estado de la Astronomía en Cuba, resulta interesante el informe de una visita realizada en 2005 por dos representantes de la Unión Astronómica Internacional (UAI). Por una parte, se reconoce la calidad de la infraestructura básica y el personal científico que labora en este campo, especialmente en el IGA. Por otra, se aprecia un estancamiento originado por la falta de renovación del equipamiento y los recursos humanos. El informe

recomendó ampliar la presencia de la Astronomía y disciplinas afines en las universidades cubanas y activar los vínculos con la UAI y otras formas de intercambio científico con la comunidad astronómica internacional. (J. Hearnshaw y J. Fierro. Grupo de Trabajo de la Comisión 46 para el Desarrollo de la Astronomía a Nivel Mundial (PGWWDA). Reporte al Comité Ejecutivo de la Unión Astronómica Internacional y a la Presidencia de la Comisión 46 de la IAU sobre la astronomía en la República de Cuba. 16 Febrero 2005). Durante el reciente Año Internacional de la Astronomía, se realizaron en Cuba numerosas actividades científicas y divulgativas, incluyendo la inauguración de un moderno planetario en la Plaza Vieja del centro histórico de La Habana.

### **6.2.1. Física médica**

La Física Médica y la Ingeniería Biomédica experimentaron un significativo crecimiento durante la década y contribuyeron al desarrollo de servicios médicos de gran impacto social.

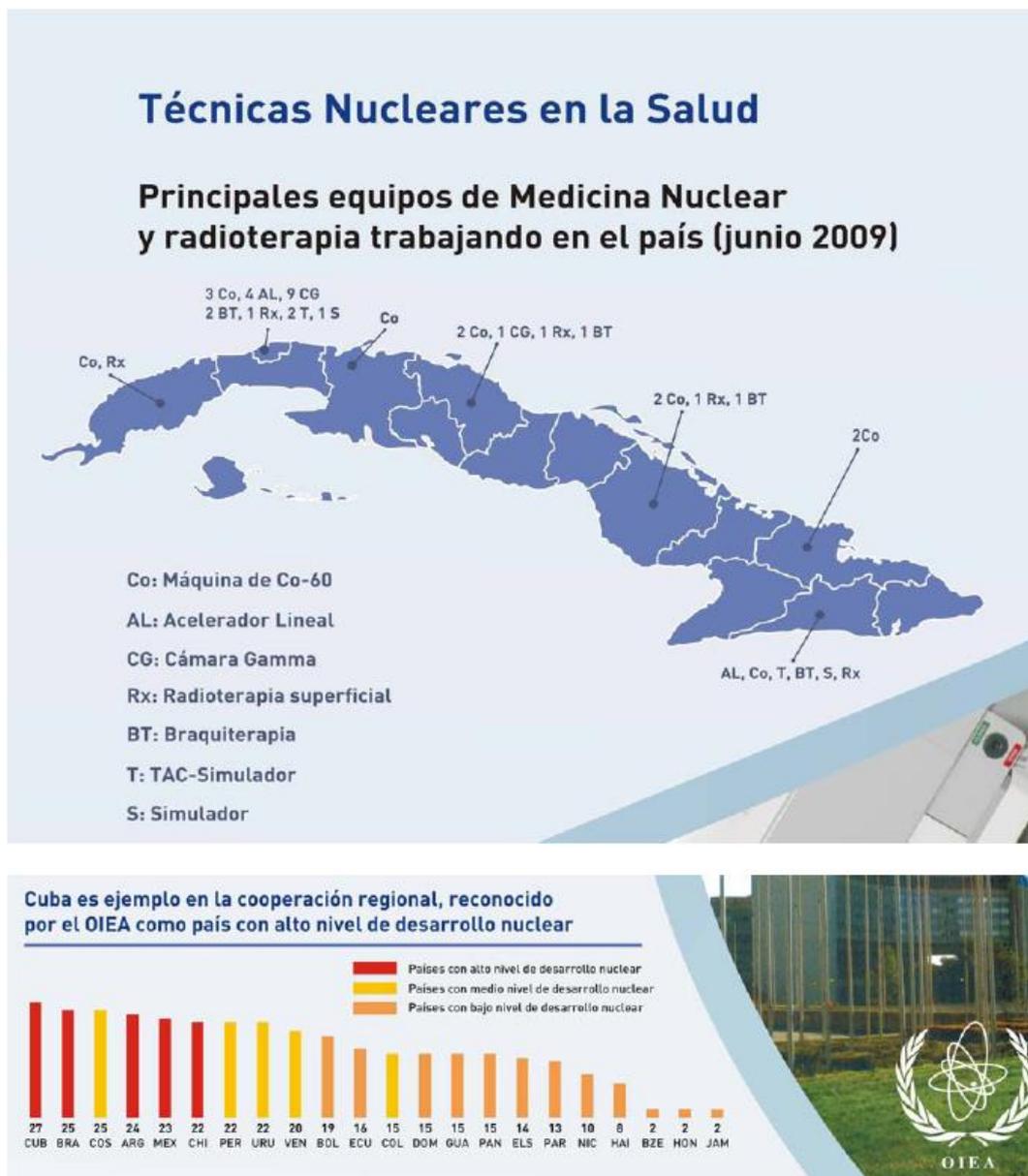
Entre los principales resultados de la actividad de desarrollo e innovación en este campo se destaca la construcción de un tercer tomógrafo de MRI y la implementación de un sistema de transmisión de imágenes biomédicas (CBM-UO), el desarrollo y fabricación de nuevos microfluorímetros y espectrómetros de la serie SUMA (Centro de Inmunoensayos), de nuevos equipos médicos con láser para análisis, fisioterapia y acupuntura (CEADEN) y extracción de sangre sin contacto (IMRE), etc.

Por otra parte, los servicios de radiodiagnóstico y radioterapia se extendieron por todo el país, incluyendo hasta el año 2009, 64 equipos de tomografía computarizada, 20 cámaras gamma, 11 equipos de radioterapia (incluyendo 4 aceleradores lineales) y 13 equipos de MRI. Hasta 2008, unos 80 físicos médicos se encontraban trabajando en estos servicios (López, 2009), (Pérez, 2009). Un número similar de físicos, ingenieros y biólogos vinculados a esta área trabajaban en universidades, centros de investigaciones, el centro de producción de isótopos y otros relacionados con el control, la regulación y la seguridad de estas actividades.

En este campo se han realizado importantes servicios y trabajos de desarrollo, como un sistema de cálculo de dosis personalizado al paciente, las tarjetas y paquetes de software para la adquisición, manipulación y procesamiento de imágenes de cámaras gamma, la producción, el diseño y blindaje de instalaciones hospitalarias de medicina nuclear, el desarrollo y validación de un método de optimización de la actividad, el estudio y la evaluación de anticuerpos monoclonales cubanos marcados con radioisótopos, el diseño y validación de métodos relativos de cuantificación del flujo sanguíneo cerebral, la fabricación de detectores

para imágenes radiográficas digitales, la producción nacional, evaluación y validación de radiofármacos y la implementación de protocolos nacionales para la auditoría y el control de calidad de los servicios de medicina nuclear y radioterapia.

Se abrieron programas de maestría para ingenieros en “Tecnología de imágenes biomédicas” en varias universidades del país. Para los graduados de Física que comenzaron a trabajar en los servicios de radioterapia se implementaron los diplomados de “Aspectos físicos de la Medicina Nuclear” y “Física de la Radioterapia” y una maestría en “Física Médica” en el INSTEC. Desde el año 2004 se inició en el ISPJAE la carrera de Ingeniería Biomédica.



**Figura 16:** Principales equipos de medicina nuclear y radioterapia trabajando en Cuba en el año 2009.

Mención aparte merece la contribución de los físicos cubanos al desarrollo de la “Operación Milagro”: un programa cubano – venezolano de operaciones gratuitas de cataratas, glaucoma, estrabismo y otras enfermedades de la visión a personas de bajos recursos en países del Tercer Mundo, utilizando cirugía láser refractiva. Entre 2004 y octubre de 2008 habían sido operadas 1.314.000 personas de 33 países de América Latina, África y Asia, y para 2014 el objetivo del programa es llegar a la cifra de 6 millones de personas operadas. A partir del año 2005 y bajo la dirección del Dr. Germán Muñiz Planas, un colectivo de profesores del departamento de Física del ISPJAE, con el apoyo de otros especialistas del CEADEN, la AENTA y el INSTEC, organizó e impartió un diplomado en Optoelectrónica y Láser. De este programa egresaron entre 2005 y 2007, 175 ingenieros que han tenido la responsabilidad, bajo la dirección de los profesores, del montaje, puesta en marcha, mantenimiento y reparación de los equipos instalados en los centros oftalmológicos creados en Cuba (10) y en el extranjero (49). Además se llevó a cabo la evaluación de los sistemas para su uso en condiciones tropicales, se preparó una monografía sobre equipos oftalmológicos y se diseñó e impartió un curso de postgrado a 1200 médicos oftalmólogos. Por su excelente preparación técnica y profesional, decenas de estos especialistas han recibido la certificación de las firmas fabricantes para instalar, mantener y reparar los láseres excímeros de cirugía refractiva y otros equipos.

### **6.2.2. Nanotecnologías**

En Cuba, como en otros países, las nanotecnologías surgieron del desarrollo convergente de las investigaciones en física y química de materiales, microelectrónica, química supramolecular, microbiología y biología molecular. Sin embargo, han sido los físicos los líderes de la difusión, promoción e integración nacional de este campo emergente de la ciencia y la tecnología.

Durante los años noventa creció en la UH el número de trabajos teóricos y experimentales sobre física de nanoestructuras semiconductoras. Por iniciativa de los físicos cubanos se organizó la Red CYTED “Estudio, fabricación y caracterización de nanoestructuras semiconductoras para la micro y la optoelectrónica” que funcionó entre 1998 y 2003 con la participación de ocho países iberoamericanos. La red organizó varios cursos y reuniones científicas, editó un libro y apoyó la colaboración científica entre las instituciones participantes.

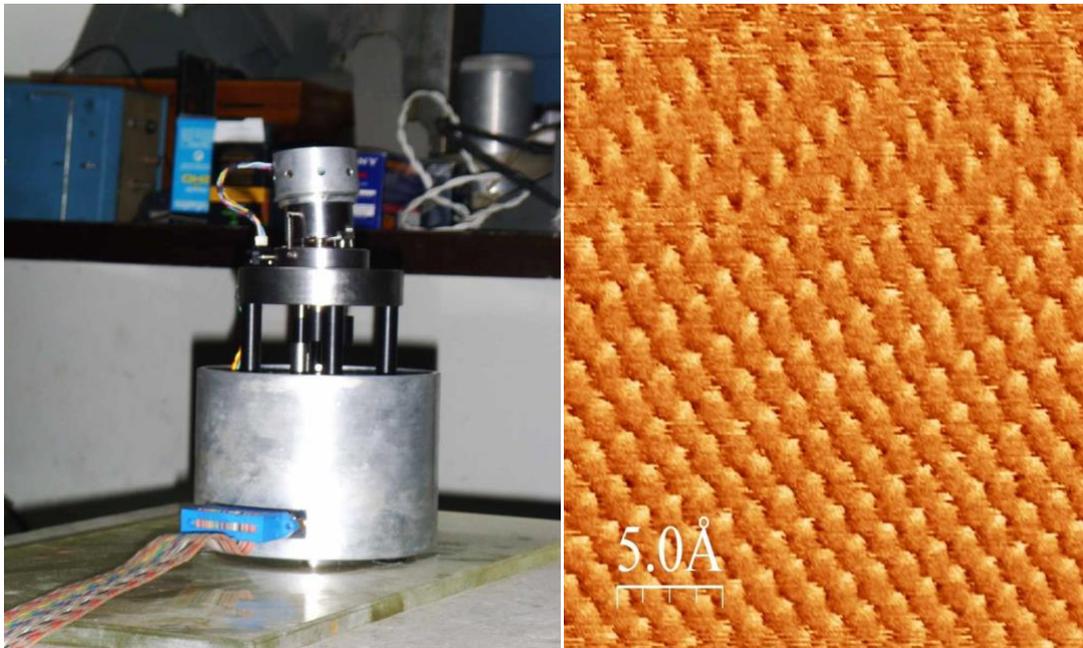
A partir de 2001 se incrementa la labor de difusión de las nanotecnologías en el país. Se organizan cursos de Nanociencias y Nanotecnologías en la Escuela de Verano del IMRE (UH)

y un evento internacional sobre Nanoelectrónica en el CIME del ISPJAE. En ese mismo año, por iniciativa del CNIC y el IMRE, se realizó el taller nacional “Las nanotecnologías en la Biotecnología y la Industria Médico – Farmacéutica” con la participación de varios centros del Polo Científico.

En el año 2002, se creó la Red de Nanotecnologías del MES, integrada por 12 instituciones y coordinada por el IMRE, con el objetivo de “impulsar la cooperación científica nacional e internacional en Nanociencias y Nanotecnologías”. La red ha organizado varios encuentros nacionales y ha coordinado la participación de especialistas cubanos en reuniones Cuba – México (2003, 2009), Cuba – Reino Unido (2004), Cuba – Brasil (2007) y de la Red de Macrouiversidades de América Latina (2006).

En ese mismo año 2002, el Observatorio de Ciencia y Tecnología del CITMA organizó un equipo, con amplia presencia de físicos, que preparó el documento “Elementos iniciales para el análisis de la nanotecnología en Cuba” dirigido al gobierno y otros decisores. Un segundo proyecto de prospectiva sobre “Nanomateriales” se ejecutó entre 2005 y 2006 en el marco del PNCIT “Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada”.

A lo largo de estos años la investigación y la formación de doctores en “nanofísica” se extendieron al magnetismo, los polímeros, los materiales porosos, las celdas fotovoltaicas, la cristalografía, el empleo de nanopartículas para aplicaciones médicas y otras áreas.



**Figura 17:** Microscopio de efecto túnel fabricado en el IMRE con la colaboración del Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de Ensenada, México. Imagen de una superficie tomada con el mismo.

La labor de divulgación y popularización de las Nanociencias y las Nanotecnologías para diversos públicos se ha extendido durante toda la década y ha incluido conferencias en diferentes instituciones, artículos de prensa, teleclases y otras iniciativas. Por iniciativa del IMRE, la Universidad de la Habana creó un colegio de Nanotecnologías, que agrupa a especialistas de las ciencias naturales y sociales, participa en la “Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad” y en la Red CYTED de Divulgación y Formación en Nanotecnologías. Se encuentra en preparación un libro de carácter general sobre las Nanotecnologías concebido para los estudiantes universitarios cubanos de una amplia gama de especialidades.

A partir del 2005 comenzó a desarrollarse un proyecto nacional para la construcción de un centro multidisciplinario de Nanotecnologías, donde la Física y sus métodos seguramente tendrán un espacio importante, especialmente en las áreas de interés para la nanobiotecnología y la nanomedicina. En el marco de este proyecto se realiza una intensa labor de entrenamiento de jóvenes físicos cubanos en universidades europeas y se han organizado varias reuniones científicas internacionales.

### **6.2.3. Otras actividades**

Durante estos años han continuado celebrándose eventos científicos nacionales e internacionales, como promedio dos al año, que organizan las universidades y centros de investigaciones o la Sociedad Cubana de Física. Además de los ya mencionados se destacan los simposios trienales de la SCF, las Escuelas de Verano Internacionales de Ciencia de los Materiales, el taller internacional de Física Médica (2002), los Talleres Iberoamericanos de Enseñanza de la Física Universitaria (2003, 2007, 2009), Tecnoláser (2003, 2005, 2007, 2009), la Conferencia Interamericana de Educación en Física (2003), el Taller Internacional de Nanomagnetismo (2004), el XVII Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido (2004), el X Taller internacional de Física Nuclear (2005), Fotociencias (2005), los eventos Óptica, Vida y Patrimonio (2004 y 2009), la conferencia “La Ciencia de Materiales en la era Nano” (2009), los Talleres de Física Nuclear y los Simposios de Técnicas Nucleares y Conexas WONP-NURT (2007, 2009). Entre los visitantes distinguidos recibidos por los físicos cubanos durante la década se destacan los premios Nobel de Física Leon Lederman (2003), Zhores Ivanovich Alferov (2007 y 2010) y David Gross (2010), el premio Nobel de Química Robert Curl (2009), el inventor del AFM Cristopher Geber y reconocidos autores de textos de Física como Marcelo Alonso y Robert Resnick.

Se mantienen activos los vínculos con redes y organizaciones internacionales (CLAF, IUPAP, FEIASOFI, ICO, IUCr) relacionadas con la Física. La revista Cubana de Física ha experimentado una apreciable mejoría y en su versión electrónica es de fácil acceso. Recientemente la SCF, presidida primero por el Dr. Osvaldo de Melo Pereira y actualmente por el Dr. Augusto González, estableció el premio anual de Física “Manuel F. Gran” otorgado por primera vez a tres físicos cubanos: Hugo Pérez Rojas, Carlos Trallero Giner y Carlos Cabal Mirabal en ocasión del congreso celebrado en marzo del 2011.

A partir de los acuerdos firmados entre la SCF y la APS en el 2000, se organizaron en La Habana dos eventos: el Taller de Física Médica (2002), que contó con la participación de 30 físicos norteamericanos y la Conferencia Interamericana de Educación en Física (2003), donde participaron 34 profesores de ese país. Sin embargo, las limitaciones que impone el bloqueo norteamericano a Cuba no han permitido una colaboración estable entre los físicos cubanos y norteamericanos. Poco después del derribo de las Torres Gemelas, fue cancelado por la IEEE su capítulo cubano, establecido en la década anterior.

En ocasión del Año Internacional de la Física se creó un comité nacional y se desarrolló un amplio programa de actividades que incluyó entre otras la realización de siete reuniones científicas nacionales o internacionales, spots televisivos, encuentros con la prensa, entrevistas, la impresión de dos tarjetas telefónicas, la edición de un sello de correos conmemorativo de la visita de Einstein a La Habana en 1930, la proyección de documentales, el montaje de una exposición itinerante sobre la física del siglo XX, la participación en el proyecto “un rayo de luz a través del mundo”, la presencia de tres físicos cubanos en la conferencia inaugural del año “Física para Mañana” en París y de cuatro en la conferencia internacional “Física y Desarrollo Sostenible” de Durban, que lo cerró. Se preparó el artículo “Una mirada a la Física en Cuba”, publicado por PhysicsToday en septiembre de 2006 [Baracca A., Fajer V., Rodríguez C., 2006].



**Figura 18:** Sello postal por el 75 aniversario de la visita de Albert Einstein a La Habana (1930–2005).

Los físicos son una minoría muy activa dentro de la comunidad científica cubana. Es notoria su presencia en los medios y en otras actividades relacionadas con la popularización y el impacto cultural de la ciencia. Han contribuido muy especialmente a la difusión y promoción del emergente campo de las nanotecnologías, a la lucha contra la pseudociencia, a la información acerca de los cambios climáticos globales, en favor del empleo de las energías renovables y otros temas de gran relevancia.

Las condiciones de un país en desarrollo, pequeño y bloqueado como Cuba imponen una visión pragmática del desarrollo económico y social. En ese contexto, el futuro de la Física cubana dependerá en buena medida de las posibilidades del país de promover programas estratégicos de largo plazo en campos que ofrezcan oportunidades a la Física, así como de la capacidad de los físicos cubanos para identificar y aprovechar las oportunidades que ofrecen las prioridades del país y al mismo tiempo participar activamente en la colaboración científica internacional. Una condición imprescindible para ello es mantener y continuar elevando, los altos estándares alcanzados en las décadas anteriores en la enseñanza de la Física en todos los niveles de la Educación y en la formación de físicos a nivel de pregrado y postgrado.

## Referencias

- Alamino Ortega D., Rodríguez Falcón F. L., 1987: “Primeros experimentos cubanos de ciencia de los materiales en el espacio: propósitos y resultados”, *Órbita*, 7, pp. 19–23.
- Alamino Ortega D., 2005: “Primeros pasos de las investigaciones en Física del Estado Sólido en Cuba”, *Revista Cubana de Física*, Vol. 22, No. 1, pp. 81–88.
- Alonso M., 1958: *Física Atómica*, tomo I, Publicaciones Cultural, S.A., La Habana.
- Alonso M., Expedientes: Expedientes de Marcelo Alonso, Archivo de la Universidad de la Habana.
- Altshuler J., 1963: “La investigación científica: un panorama” (en calidad de Vice-Rector de Investigaciones Científicas y Asuntos Internacionales), Universidad de La Habana.
- Altshuler J., 1994: “La especialización en telecomunicaciones la reforma del plan de estudios de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de La Habana”, *Estudios de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, Academia de Ciencias de Cuba, Editorial Académica, La Habana.
- Altshuler J., 1997-a: “Visión retrospectiva de un momento de la enseñanza de la física en Cuba”, *Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria*, La Habana, Enero 1997, Vol. 1, pp. 25 – 33.
- Altshuler J., 1997-b: “From shortwave and scatter to satellite: Cuba’s international communications”, in Andrew J. Butrica (Ed) *Beyond the Ionosphere: Fifty Years of Satellite Communication*, NASA History Office, Washington, p. 243.
- Altshuler J., Baracca A., 2001: “The development of university physics in Cuba, 1816–1962”, XXI International Congress of History of Science, México, July 8–14, 2001, in press.
- Arias O., 1997: “La microelectrónica: breve panorámica histórica sobre su desarrollo y estado actual en Cuba”, no publicado.
- Baracca A., 1999: “El despegue de la Física en Cuba desde 1959 hasta la década de los setenta”, *Revista Española de Física*, 13 (4), pp. 6–11.
- Baracca A. (Ed.), 2005: *History of the Development of Physics in Cuba: The Development of an advanced Scientific System in an Underdeveloped Country*, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Preprint 302.
- Baracca A., 2009: “Science (Physics) in Cuba: a lag between technological and scientific development?” in: Duccio Basosi and Alessandra Lorini, 2009.
- Baracca A., Fajer V. and Henríquez B., 2001: “The development of physics in Cuba during the sixties and seventies of the XXth century: an integrated approach. The formation of an advanced scientific system in an underdeveloped country”, XXI International Congress of History of Science, México, July 8–14, 2001, in press.
- Baracca A., Fajer V. and Henríquez B., 2004: “El desarrollo de la física en Cuba”, *Revista Iberoamericana de Física*, Madrid, n. 1, 54–61, December 2004.
- Baracca A., Fajer V., Rodríguez C., 2006: “A look at Physics in Cuba”, *Physics Today*, September 2006, pp. 42–48.
- Baracca A., Méndez L., 2001: “Cincuenta años de física en la Universidad de Oriente, en Santiago de Cuba”, *Revista Cubana de Física*, 18 (2), pp. 146–154.

- Basosi D. and Lorini A., 2009: *Cuba In The World, The World In Cuba. Essays On History, Politics And Culture (From Colonial 19th Century To Revolution)*, Florence, Florence University Press.
- Bertrán Fernández J., 1962: “Informe sobre la visita a Institutos de Física Italianos”, Universidad de Oriente.
- Blaquier M., 2009: “Las tecnologías de información y comunicación en Cuba: mitad del siglo XIX e inicios del XX “, in: Duccio Basosi and Alessandra Lorini, 2009.
- Boletín, 1959: *Boletín Oficial Universitario*, Universidad de La Habana, año 1959.
- Boletín, 1960: *Boletín Oficial Universitario*, Universidad de La Habana, año 1960.
- Boletín, 1979a: *Boletín Oficial Universitario*, Universidad de La Habana, Febrero de 1979.
- Boletín, 1979b: *Boletín Oficial Universitario*, Universidad de La Habana, Agosto de 1979.
- Cardero E., Marrero M, Meitín J., 1973: “Aplicaciones de los equipos radioisotópicos En instrumentación y control y algunos resultados logrados en este campo en nuestro País”, *Control, Cibernética y Automación*, Vol. 1, No. 2, pag. 8–14, Abril-Junio.
- Castaño González O., De Dios Leyva M. y Pérez Alvarez R., 1975: “The beta-parameter and Velicky’s approximation in the calculation of the optical properties of GaAs”, *Physica Status Solidi (b)*, 71, 111; “Relaciones de dispersión: discusión del metodo de Velicky”, *Revista Comunicaciones*, 17, 65.
- Castro Díaz-Balart F, 1990: *Energía Nuclear y Desarrollo*, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana.
- Crespo F., Vigil E., Waisman D., 1968: “Sobre los primeros resultados en diodos de Ge obtenidos pr aleación”, Conferencia Química de Oriente, Santiago de Cuba (febrero).
- De Armas R., Torres-Cuevas E., Cairo Ballester A., 1984: *Historia de la Universidad de La Habana*, t. 2, Ed. de Ciencias Sociales, La Habana.
- Diaz C., Meitin J., 1975: “Determination of iron content in lateritic ores by radioisotope X-Ray Fluorescence using a 238Pu source and a scintillation counter”, *Revista CNIC, Ciencias Físicas*, Vol. 6, No. 1, pag. 111–120.
- Desdén L. y Magro E, 2000: suizo para diseño y utilización de sistemas de control nucleico. Informe de proyecto ALCA 181024 (ARCAL XLIII).
- Doval J. Pérez, 1991: *Datos Astronómicos para Cuba*, ISSN 0864-0645, pp. 29–33.
- Estado, 1976: *Estado Actual de las Ciencias Físicas en Cuba*, 1976: informe elaborado por H. Pérez Rojas, D. Stolik Novigrod, J. Fuentes Betancourt, C. Rodríguez Castellanos, A. D’Costa Méndez, R. Alvarez Morales, B. Lazo Olazábal, E. García Tarajano, J. González, M. Ramos Vázquez, O. Arias Fuentes; en *Las Ciencias Básicas: Examen Preliminar de su Situación Actual en Cuba y a Nivel Mundial*, Consejo Nacional de Ciencia y Técnica, Dirección de Ciencias Exactas y Naturales (Presidente Ing. José Altshuler).
- Estrada M., Cerdeira A., Fornés A. y otros, 1972: “Construcción de dispositivos semiconductores por método de aleación”, Memoria al 1er Congreso de Técnica Digital.
- Fornés A., Martell A., 1973: “Determinación del tiempo medio de vida de portadores minoritarios”, *Revista de Física*, Serie 2, n. 22.

- Gálves Taupier L. O., 1986: *Ciencia Tecnología y Desarrollo*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1986.
- González, 1985: Discurso por el XX Aniversario del Instituto de Meteorología, La Habana, 13 p.
- Geofísica, sin fecha: *Instituto de Geofísica y Astronomía: Síntesis del Historial del Centro*.
- Historial (sin fecha): *Instituto de Geofísica y Astronomía: Síntesis del Historial del Centro* (documento proporcionado por la Dra. Lourdes Palacios).
- ININTEF, 1982: *ININTEF, XV Aniversario*, Academia de Ciencias de Cuba.
- Investigación, 1963a: *La investigación científica: un panorama*, 30 de octubre de 1963: archivo personal del Dr. José Altshuler, La Habana.
- Investigación, 1963b: *Planificación y tendencias de la investigación*, Ing. Ventura Montes para la Comisión de Investigación de la UH, 1963: archivo personal del Dr. José Levaldi A., 1968: *Fotoconducción*, Notas de Conferencias (inconclusas por el fallecimiento del Autor), Escuela de Física, Universidad de La Habana, noviembre 1968.
- Hardy, L., Martínez, F., Hoyos, O. and Núñez, A.(2006) Cuban Strategy for reproducing , preserving and developing nuclear knowledge. *Int. Journal of Nuclear Management*, Vol.2, No.1.
- López, 2009. Comunicación privada.
- Jiménez Pozo M. A., Sánchez Fernández C., 1993: “Panorama de la Matemática en Cuba “, *Revista Ciencias Matemáticas*, Vol. 14, No. 2–3, pp. 99–123.
- J., Meitín 1976: Analizador de hierro, Patente Cubana No. 33625, 12.12.76.
- Marrero M., y otros, 1969: “Instrumento isotópico de nuevo tipo para controlar la densidad y uniformidad de los cigarrillos”, *Revista CNIC, Serie B, Ciencias Físicas*, Vol.1, pag.2, pag. 24–33.
- Marrero M., Meitín J., 1974: “Determinación del hierro total en material laterítico por el método roentgenoespectral utilizando una fuente beta de  $^{147}\text{Pm}$ ”, *Revista CNIC, Ciencias Físicas*, Vol. 2, No. 1, pag. 99–109.
- Marrero M. y Meitín Altshuler, La Habana.
- Martí, 2009. Comunicación privada.
- Meitín J., Roig J., 1971: “Determinación del hierro total en el mineral laterítico por el método roentgenoespectral utilizando una fuente de bresstrahlung de  $3\text{H}/\text{Zr}$ ”, *Revista CNIC, Ciencias Físicas*, Vol.2, No.1, pag.85–98; Meitín J., Marrero M., “Detrermination of iron contents of lateritic ores by radioisotope X-Ray Fluorscence”, *Radiochemical and Radioanalytical Letters*, Vol. 12, No. 2–3, pp. 163–169 (1972).
- Memorando, 1962: “Informe general sobre la Escuela de Física”, Memorando al Rector de la Universidad enviado por el Director de la Escuela de de Física, Rubén Martí del Castillo, y el Director del Departamento de Física General y Experimental, Francisco Auchet Jenkins, 14 de diciembre de 1962.
- Memoria Anuario, 1966–67: Universidad de La Habana.
- Memoria Anuario, 1973–74: Universidad de La Habana.

- Memoria Anuario, 1976–77: Universidad de La Habana.
- Ministerio de Educación, 1997: Ministerio de Educación Superior de Cuba, Catálogo.
- Monet-Descombey C., 1963: Plan sobre “Orientación posible del Laboratorio de Electrónica de la Escuela de Física”.
- Morán-López J. L., 2000: “Physics in Latin America comes of age”, *Physics Today*, October, p. 38.
- Muñiz, 2009. Informe presentado a la ISPJAE. Equipos oftalmológicos de alta tecnología: Impacto social de las investigaciones realizadas por ingenieros egresados del Diplomado en Optoelectrónica y Láser
- Ortiz F., 1963: *Contrapunteo cubano del tabaco y el azúcar*, La Habana, Editorial del Consejo Nacional de Cultura.
- Ortiz H., 1987: “Reseña Histórica de la Meteorología en Cuba”, Academia de Ciencias de Cuba, Conferencias y Estudios de Historia y Organización de la Ciencia, N. 53 (ISSN 0864-1463), La Habana, Junio 1987.
- Pérez H. (sin fecha): “La Escuela de Física”, notas personales.
- Pérez M, M- Hernández-Díaz , Díaz O., 2009. Medical radiation physics – A global perspective. Experience in Medical Physics / Biomedical Engineering for Radiation in Cuba. In press.
- Plan UO, sin fecha: “Plan para la formación de físicos en la UO” (Documento sin Fecha, la más probable es fines de 1967 inicios de 1968).
- PNUD, 1979: Documento del Proyecto *Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional*, CUB/77/001/C/01/18, Enero.
- Ramón de la Sagra, 1831: *Historia económica-política y estadística de la Isla de Cuba*, La Habana.
- Reforma Universitaria, 1962.
- Rodríguez Castellanos C., 1984–5: “La física teórica en Cuba”, parte de un informe sobre la física en Cuba elaborado por la Sociedad Cubana de Física.
- Rodríguez Castellanos C., 1989: “La investigación en Física Teórica en la Universidad de La Habana. Experiencias y proposiciones”, Conferencia presentada en el Seminario Nacional organizado en la Facultad de Física con motivo del 20 aniversario del Departamento de Física Teórica.
- Rodríguez Castellanos C., 1997: “Universidad de La Habana: investigación científica y período especial”, *Rev. Cubana de Educación Superior*, XVIII, 3, 1997,13–36).
- Soto H., 2000: “Roberto Joaquín Soto del Rey, biografía”, *Energía y Tú*, 9, enero–marzo 2000, pp. 36–37.
- Tratado, 1962: Tratado sobre colaboración amistosa entre la UO de Santiago de Cuba y la Universidad Técnica de Dresden, Mayo.
- UNIVERSIDAD, 1972: *Universidad de La Habana*, N. 196–197, 2–3, p. 377.
- Veltfort T., 1998: “The beginning of semiconductor research in Cuba, a personal recollection”, contribución al Segundo Congreso de la Sociedad Cubana de Historia de la Ciencia y de la Técnica, La Habana, 25–27 de Febrero de 1998.

- Ventura Montes, 1963: *Planificación y Tendencias de la Investigación*, documento para la Comisión de Investigación, Universidad de La Habana.
- VIDA, 1970: *Vida Universitaria*, año XXI, N. 222 (sept.–oct.), p. 13.
- Waisman D., 1969: “Andrea Levialdi”, Obituario, *Vida Universitaria* (Universidad de La Habana), No. 215, p. 40.



## 03 La Física en la Universidad de Oriente

Luis M. Méndez Pérez<sup>1</sup> Carlos A. Cabal Mirabal<sup>2</sup>

### Introducción

Este capítulo complementa la información dada en el capítulo previo (Baracca, Fajer y Rodríguez 2014) sobre el desarrollo de la física en Cuba desde 1959 hasta al presente. El mismo concentrará su atención al desarrollo de la enseñanza y las investigaciones en física llevado a cabo en la Universidad de Oriente (UO), con sede en la segunda ciudad de importancia económica, social y cultural en el país, la ciudad de Santiago de Cuba situada a 1000 Km al este de la Capital de la República, y bañada por las cálidas aguas del mar Caribe. Aquí se fundó la Escuela de Física en 1970, pero contó con su Cátedra de Física desde su fundación en el año 1947.

### Los pasos iniciales (1947 a 1961)

La Universidad de Oriente fue inaugurada el 10 de octubre de 1947, siendo este hecho, señalado por la prensa (Diario de Cuba 1947), como “un acontecimiento trascendental en la historia de la docencia cubana... comenzando a funcionar bajo los mejores auspicios...”.

La fundación de la Universidad se logró después de incontables gestiones durante dos décadas por diferentes organizaciones sociales independientes, constituidas por profesionales, comerciantes e industriales con perspectivas futurista de desarrollo; entre estas, estaban la Sociedad de Estudios Superiores de Oriente y el Consejo Directivo de la Universidad de Oriente. Entre los miembros de este último Consejo estaba el prestigioso profesor de física Dr. Roberto Soto del Rey (4 de Marzo de 1913 – 25 de Diciembre de 1995). La fundación de la Universidad, segundo centro de su tipo en el país, tuvo un elevado arraigo popular ya que a las familias pobres y de la clase media se les hacía económicamente muy difícil enviar y sostener a sus hijos en la Habana para que cursaran estudios universitarios. Ese movimiento ciudadano junto al hecho que su claustro estuvo compuesto por muchas personalidades que habían participado en la Guerra Civil española por la república y al contexto socioeconómico

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>2</sup> Grupo de Imágenes Moleculares de Resonancia Magnética, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana, Cuba.

e histórico de Santiago de Cuba marcó a la Universidad como una institución progresista y popular.

La Universidad al fundarse toma lo mejor de la pedagogía cubana como expresó en cierta ocasión el eminente Profesor de origen español Dr. Francisco Prat en entrevista a la prensa (Sierra Maestra 1982).

“La Universidad de Oriente nació con el propósito de renovar la enseñanza en Cuba.”

Al abrir sus puertas la Universidad, lo hizo con su Facultad de Ingeniería ofreciendo la Carrera de Ingeniería Química Industrial, que entre las disciplinas a cursar en su curriculum del primer curso estaba la Física Superior a cargo precisamente del Dr. Roberto Soto del Rey, quien ocupó la primera Cátedra de Física en la recién inaugurada Universidad (Acta No. 13 Consejo Directivo Universidad de Oriente 1947).

En lo que respecta a la Física, se tomaron las raíces más profundas de la pedagogía cubana, surgida entre la década final del siglo XVIII y el primer tercio del siglo XIX, pues en la recién fundada cátedra de Física de la UO entraron en resonancia las ideas y concepciones del insigne maestro, sacerdote y filósofo José Agustín Caballero y Rodríguez, quien abogaba (F. González del Valle, R. Agramonte 1944):

por la enseñanza en Cuba de la Física copernicana y la del inglés Newton; deseaba la Física Experimental y Aplicada para que los jóvenes apoyados en ella ayudasen al fomento nacional.

y también las de su discípulo, el sacerdote y filósofo Félix Varela (Granma 1997) con

su concepción de que a partir de la experiencia y la razón se puede llegar al conocimiento, lo llevó a inaugurar [en Cuba] la enseñanza mediante experimentos de laboratorio de Física y Química.

El Dr. Soto del Rey fue un fiel seguidor de estas concepciones y en especial de las expresadas por Varela respecto a la conjugación de la “experiencia y la razón”, pues siempre fue un devoto del racionalismo cartesiano y del experimentalismo galileano. A su vez, siguiendo además el legado de su excelente maestro de Física, el Dr. Manuel F. Gran, de quien fue alumno en sus años de estudiantes en la Universidad de la Habana (1934 – 1939), inició el montaje de los laboratorios docentes de Física, como en otras áreas universitarias se montaron la Planta Piloto, y el Taller de Maquinado, destinados a brindar una sólida formación práctica a los estudiantes, lo que fue confirmado por el Dr. Prat (Sierra Maestra 1982).

tratar de hacer de la UO un centro tecnológico de Ciencias Aplicadas, pues desde el primer momento aquí se puso énfasis en la Ingeniería Química, con la construcción de los primeros laboratorios en cuanto se contó con presupuesto.

El profesor Roberto Soto del Rey fue precursor, en la Universidad de Oriente, de acciones para establecer contactos internacionales con instituciones científicas y académicas, al ser el primer profesor de la Universidad en recibir los beneficios de los años sabáticos en 1952, según comunicación del Dr. Ernesto Pujal Fernández secretario general de la Universidad de Oriente, yendo directamente a nutrirse de los avances de las escuelas francesa e italiana, pues estuvo en la Sorbona de París y en Milán, entre otros lugares, adquiriendo conocimientos sobre Teoría de la Relatividad, Teoría Cuántica, Física Estadística y Cálculo Tensorial. A su vez el Profesor Soto del Rey mantenía estrechas relaciones con profesionales, comerciantes e industriales de la ciudad y la región que lo mantenían al tanto del acontecer tecnológico y económico de su época.

En 1951 se redactó el proyecto de organización de la Escuela de Ciencias y de las Carreras de Ciencias Naturales y de Físico Química de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, la que para 1956 se transformó en la Facultad de Ciencias Naturales ofreciendo entre otras: las carreras de Física – Matemática y Química – Física, aunque con una matrícula muy reducida. En la primera de ellas, matriculó sólo una alumna, que en el tercer curso se integró a la segunda.

Esta fue una etapa de definiciones y de establecimiento de una corriente pedagógica propia en cuanto a la enseñanza de la Física para estudiantes de pregrado de Ingeniería y Ciencias, para estas últimas también con un perfil de aplicación, surgiendo la idea de ofrecer una carrera de Física Industrial, análoga a la de Ingeniería Química Industrial que ya existía en la Universidad, además se tenía la idea de fomentar las investigaciones científicas, muy pobres en esa época; lamentablemente todo esto sólo fueron ideas muy loables llevadas a cabo por Soto del Rey, como la de evitar, entre otro, la privatización de la Universidad. Esto último fue debido a la verticalidad y el espíritu de no violar los principios en que se sustenta la obra iniciada llevan al Dr. Soto del Rey, en fecha tan temprana para la Universidad de Oriente como el primero de febrero de 1948, en la sesión correspondiente del Consejo Directivo, a solicitar su renuncia como miembro del mismo y como miembro del Claustro Universitario en protesta a la moción, secundada por el Rector y por otros miembros del Consejo y algunos profesores, de pasar la Universidad a un Patronato, privándola de su carácter público. Su renuncia se aprueba en la sesión del 9 de Abril de 1948 (Acta No. 23 del Consejo Directivo de

la UO), pero el movimiento iniciado contra este proyecto fue tan fuerte que, finalmente, la moción fue desestimada, la Universidad mantuvo su carácter público.

### **Período de 1961 a 1967**

Triunfa la Revolución Cubana y Soto del Rey participó activamente en la Reforma Universitaria, siendo primero miembro de la Asamblea Estatuaria de la Universidad de Oriente y más tarde designado como su representante en el Consejo Superior de Universidades. En estos, los primeros años de la década de los sesenta, Soto del Rey mantuvo contacto con italianos y solicitó oficialmente colaboración a autoridades soviéticas en los primeros meses de la Revolución, recabando apoyo para el desarrollo de la ciencia; visito la URSS, Polonia, Bulgaria, etc. para iniciar relaciones en busca de asesoría científico técnica con instituciones de educación superior de estos países (Soto 2000, 33)

No es necesario enfatizar, que una entidad académica comienza a alcanzar personalidad propia, en tanto es capaz de no depender exclusivamente del conocimiento y sus portadores (programas, textos, equipos, etc.) generados externamente, sino cuando llega a un estadio en que puede generarlos y con ello contribuir modestamente a preservar y generar cultura. Siguiendo esta idea en el Departamento de Física de la UO ya en los primeros años de la década de los años sesenta se alcanzó este estadio y así en septiembre de 1961 vio la luz la obra “Tensión superficial y soluciones líquidas” de los Drs. Roberto Soto del Rey y Luis Aguilar Salcedo, en cuyo prólogo se lee (Soto del Rey y Aguilar Salcedo 1961, 1).

con este trabajo, el Departamento de Física inicia la publicación del curso de Física que se imparte a los que estudian Ingeniería en la Universidad de Oriente.

Es ésta, una aspiración de la década anterior hecha realidad; en los años siguientes se publican otros tomos “Estática”, “Cinemática”, “Hidrodinámica” y finalmente en 1966 “Vibraciones y Ondas”.

Estas obras dan personalidad propia al Departamento de Física de la Universidad de Oriente, no sólo por haberlas publicado, sino más bien por el estilo que las caracterizan: a partir de cortos epígrafes, aislados al parecer unos de otros, al conformarse los de mayor jerarquía hasta llegar a los Capítulos; se va construyendo poco a poco el conocimiento y la teoría más general. En estos existe la cantidad de palabras necesarias, si falta una, la idea queda inconclusa, si hay una más, ésta resulta superflua; esto es característico del Dr. Roberto Soto del Rey -la conjugación del racionalismo y la síntesis-. La experiencia y la razón, están

también presentes en estas obras, para llegar al conocimiento se describen múltiples experiencias y por generalización se llega a conclusiones teóricas; no estando ausente la rigurosidad matemática, ni olvidadas las aplicaciones prácticas de instrumentos o métodos de esos principios teóricos.

En aquellos años los Profesores del Departamento tenían además de su actividad docente universitaria fuertes vínculos con la docencia de la física en los niveles pre universitarios, Roberto Soto del Rey y Luis Amado Aguilar Salcedo eran profesores activos de Física en el Instituto de Segunda Enseñanza de Santiago de Cuba y ejercían una notable influencia sobre los demás profesores y sobre los estudiantes de ese nivel de enseñanza.

Soto del Rey partiendo del papel fundamental de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de la propia Ciencia, en su preservación y en la transmisión del legado de aquellos que contribuyeron al desarrollo de la física; en el antiguo local del Departamento, a lo largo del pasillo que conducía a los laboratorios se instauró una modesta pero verdadera galería de Físicos; orgullo indiscutible del Departamento, admirada por todo aquel, que tenía la oportunidad de deleitarse con ella, a la vez de adquirir conocimientos. Era notable también la conservación y exposición de instrumentos, equipos reliquias de añeja procedencia que junto a lo anterior creaba una atmósfera especial.

La comprensión del valor de las investigaciones científicas en las instituciones académicas superiores, como elemento fundamental en la generación del conocimiento en unión con el intercambio internacional, en esta etapa no se pierde de vista, por tal razón en mayo de 1962 el Decano de la Facultad de Ciencias Dr. Fernández Bertrán realiza un viaje por países europeos, firmando un convenio de colaboración con la Universidad Técnica de Dresden (Tratado 1962) y presento un Informe detallado de la posible colaboración con diversas instituciones y Físicos italianos en los campos de la Física Nuclear y la del Estado Sólido, dicho informe (Fernández Bertran 1962) concluye:

... esperando este informe contribuya al inicio de la planificación de la investigaciones de la Física en Cuba ... .

Como consecuencia del viaje de Bertrán a Italia llegaron a la UO dos profesores italianos: el Ing. Mario Chirco, ingeniero eléctrico que tenía un alto nivel físico matemático de la escuela italiana, quien trabajó por varios años, y el físico nuclear Piero Basso.

En 1966 se creó la Escuela Básica de Tecnología y Ciencias, a la cual se integraron los Departamentos de Matemática y Física: en este último por períodos cortos se incorporan otros Profesores, el Dr. Suarez Soto, el Dr. Olivares y el salvadoreño Dr. Ricardo Arrieta Salazar, quien llegó de California imposibilitado de regresar a los Estados Unidos y posteriormente encuentra la muerte a manos de los sicarios del dictador salvadoreño de turno.

## **La Escuela de Física de la Universidad de Orient**

### **Gestación de la Escuela (1967–1970)**

Desde 1965 en la UO se habían constituido dos comisiones dirigidas estas por Luis Oliva y Miguel Matute respectivamente<sup>3</sup>, para analizar las vías de formar físicos y matemáticos con el objetivo de resolver los problemas docentes de estas disciplinas. Pero esto no prosperó porque se pensaba que la Universidad de la Habana podía formar todos los físicos necesarios al país. En intercambios realizados con el físico soviético F. D. Kochanov, que trabajaba en la Universidad de la Habana, se vislumbró que el objetivo no se limitaba al de resolver sólo el problema docente, sino también, el de desarrollar la física y fundamentalmente sus aplicaciones en la industria minera y otras, y así surge la idea de la formación de “Ingenieros Físicos” en la facultad de Tecnología. El Dr. Kochanov, su curso de Óptica que se reprodujo y otros materiales por él escritos sobre las aplicaciones y posibilidades de la física, contribuyeron a consolidar un ambiente favorable a la consolidación de la física en la UO.

En el curso académico 1967–1968 se incorporaron al Departamento de física los profesores Jorge González Alonso y Homero Fuentes González, quienes se habían graduado de físicos en la Universidad Técnica de Dresden y de La Habana respectivamente, no obstante la situación del Departamento era crítica, por el reducido número de Profesores que tenían una alta labor académica de pregrado, careciendo de tiempo para incorporarse a proyectos de investigaciones y para recibir e impartir enseñanza posgraduada (González y Fuentes 1968). Esta situación cada vez más se agudizaba, debido al aumento de la matrícula en las carreras de Ingeniería, Ciencias Agropecuarias, Medicina y el Instituto Pedagógico; en tanto no existía una carrera para formar Físicos, a pesar de verse esa necesidad desde la década anterior, pero la misma no fructificaba Para enfrentar esa elevada carga docente como en todas las universidades se había creado el movimiento universitario de alumnos ayudantes que a la vez que estudiaban impartían clases a años inferiores.

---

<sup>3</sup> Entrevistas a Miguel Matute y Ramón Pomés.

Ante esta disyuntiva, entre las posibles alternativas, se optó por la que aprovechaba al máximo los medios y recursos existentes:

- Creación de un grupo de estudiantes, seleccionados entre los mejores expedientes de los terceros y segundos cursos de las Carreras de Ingeniería o Ciencias Químicas y formarlos como Físicos en un corto período de tiempo.
- Que estos estudiantes se dedicasen simultáneamente a la impartición de las asignaturas de Física General a otras carreras y montasen o perfeccionasen los laboratorios docentes; concentrando el trabajo de los pocos Profesores existentes y de la asesoría técnica extranjera a la formación de esos estudiantes de Física.

Con estas premisas en el año 1967 se solicita al Ministerio de Educación (MINED) la autorización para formar físicos en un Plan Especial de Ingeniería Física de la Escuela Básica de la Facultad de Tecnología, quienes se graduarían en Julio de 1971 según se publicó (Sierra Maestra 1968).

“Se graduarán primeros Ingenieros Físicos de la UO en 1971, con el fin de resolver problemas tecnológicos y análisis físicos de minerales.”

Este fue el primer paso en la gestación de la Escuela de Física de la UO, siendo los objetivos del plan<sup>4</sup>:

- ... el grupo de Física Aplicada persigue resolver en términos generales todas las necesidades docentes, de investigación o de cualquier otro tipo en el campo de la Física en la UO.
- ... pretende la formación de un núcleo inicial en nuestra Universidad, que trabajará en diversas ramas de la Física Aplicada....los graduados de este grupo de Física Aplicada recibirán el Título de Ingenieros Físicos.
- ... pretende la formación de un Físico, con buena base experimental y teórica, así como cierta formación técnica capaz de trabajar en las investigaciones aplicadas e industriales, así como incorporar los últimos adelantos de la Física a la Tecnología.

---

<sup>4</sup> Plan para la formación de físicos en la Universidad de Oriente (documento sin fecha exacta, probablemente escrito a fines de 1967 o inicios de 1968).

Como se observa de la letra y el espíritu de la cita anterior se pretendía la formación de un Físico Industrial o Físico Técnico. Esta idea se corrobora en el propio currículum diseñado y comentado por J. González y H. Fuentes en colaboración con Soto del Rey y Aguilar Salcedo (González y Fuentes 1968).

se han incorporado por considerarse indispensables dos períodos de Electrotecnia, dos de Electrónica Básica y uno de Electrónica Industrial... El Plan de formación de Ingenieros Físicos marca sin discusión una nueva etapa en el desarrollo de la Física en nuestra Universidad. Por primera vez en ésta se acomete la formación de Físicos y con ello se resuelven toda una serie de dificultades y obstáculos que parecían insalvables.

Lo mismo fue reafirmado por un funcionario del Ministerio de Educación en su informe<sup>5</sup>:

Objetivo de la carrera: Preparar al estudiante como Físico que resuelva problemas en la industria..., el que investiga tiene una impresión óptima del trabajo que han realizado los compañeros J. González y H. Fuentes y otros dos compañeros Drs. en Física-Matemática (R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo, nota del autor); por su entusiasmo, que no ha ido en detrimento de la seriedad.... Estimamos que se debe conceder la ayuda oportuna a esta Escuela de Ingeniería Física. Por diversas razones:

1. ...la Universidad de Santiago de Cuba tiene posibilidades de desarrollar un trabajo de investigación científica en diversas ramas, por contar con cuadros de verdadera estatura científica internacional (Dr. José Fernández Bertrán) que podría orientar el camino de una investigación de postgraduados por caminos de cierto interés nacional.

2. ...por la seriedad que se ha mostrado en la formación de la Escuela...

En 1967, a los veinte años de fundada la Universidad de Oriente, se inició la gestión de la fundación de su Escuela de Física, periodo que concluyo en 1970 con su oficialización en el mes de marzo y con su primera graduación de 19 Ingenieros Físicos el 8 de diciembre del mismo año. Graduación adelantada en un curso pues no se tuvieron vacaciones y los semestres fueron reducidos en tiempo, todo esto necesito de un gran esfuerzo tanto de los estudiantes, como de los profesores. No faltaron detractores de la idea de formar físicos en la Universidad de Oriente, algunos internos y otros externos. Muchas veces hubo que explicar, y defender la concepción de la formación de un físico capaz de desenvolverse en una matriz de profesionales no físicos ya que en la zona oriental de Cuba no existían instituciones demandantes de egresados de física y este profesional tendría necesariamente que realizarse dentro de un contexto y servir para enlazar la física con otras ramas. Se defendió la idea del “gato físico”, aquel que dondequiera, caía parado.

---

<sup>5</sup> Informe al viceministro para la Educación Superior del Ministerio de Educación sobre la formación de físicos en la Universidad de Oriente.

En esta época se contó con la inestimable labor de muchos funcionarios y profesores de la propia Universidad entre ellos: El Ingeniero Miguel Torres desde su posición primero de Decano de la Facultad de Tecnología y más tarde de Vicerrector Docente. De los Drs. Luis Estévez Macken, José Borges Badell y Rosina Hing Cortón del Departamento de Matemáticas; los Ingenieros Miguel Matute Peña y Arístides Bereguer de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, que pertenecieron al claustro del Plan Especial de Ingeniería Física. Así como también el Candidato en Ciencias Físico-Matemáticas Valery Smirnov de la Universidad Estatal de Leningrado, quien tuvo una marcada influencia en las concepciones de la Ingeniería Física, en la modernización y ampliación de los laboratorios docentes de física y en la formación de la primera generación. También es resaltable la labor del Dr. Johan Monecke de la Universidad Técnica de Dresden, quien en 1969 impartió un curso de Mecánica Cuántica.

Un curso más tarde del surgimiento de la Escuela de Física, y con una concepción similar de participación activa de los estudiantes en su fundación y en el ejercicio de la docencia, se abre la Escuela de Matemática y posteriormente la escuela de Biología lo que completaba junto con Química un espectro más amplio de las ciencias básicas en la Universidad de Oriente.

### **Consolidación de la Escuela (1970–1976)**

La estructuración y fundación de la Escuela de Física en Marzo de 1970 y la primera y única graduación de Ingenieros Físicos (hasta el momento) en diciembre del propio año delimitan el fin de una etapa y el inicio de la siguiente, con un bien ganado derecho a empezar a desarrollar la física en la Provincia de Oriente.

Al oficializarse la Escuela de Física se definió un perfil de trabajo dentro de los métodos físicos de análisis, nombrándose director al Lic. Jorge González Alonso y subdirector al Lic. Homero Fuentes González y una estructura de cinco Departamentos:

- Física Nuclear, Jefe Luís Pérez Tamayo
- Óptica y Espectroscopia, Jefe Miguel Catasús Portuondo
- Física de los Rayos X y Metales, Jefe Manuel García Ramos
- Física General y Teórica, Jefe Luís A. Aguilar Salcedo
- Física Electrónica, Jefe Carlos A. Cabal Mirabal

Los tres primeros Departamentos siguiendo la Escuela Soviética ofrecían especialización a los alumnos y debían realizar investigaciones aplicadas en sus respectivos campos, los dos últimos tenían como misión apoyar las investigaciones de los primeros y ofrecer la formación básica de los alumnos de Física y de otras carreras de ciencias e ingenierías.

Excepto el Profesor Aguilar los demás jefes ocuparon esas responsabilidades aun siendo estudiantes de la carrera. La dinámica del acontecer universitario hizo que a los pocos meses, en Agosto del 1970 el Lic. Jorge Gonzalez Alonso pasara a Vice decano de la Facultad, Homero Fuentes González fuera el Director y Carlos Cabal Mirabal el Vice Director de la Escuela de Física respectivamente, luego ese mismo año Cabal es promovido a Director (hasta 1973) cuando Homero Fuentes pasa a ser también vice Decano de la Facultad de Ciencias.

El claustro de la Escuela aumentó considerablemente con la incorporación al mismo de los primeros 19 graduados de Ingeniería Física; manteniéndose en su seno los gestores y colaboradores más cercanos de su fundación los Licenciados J. González y H. Fuentes, los Drs. R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo y la incorporación de otros Licenciados en Física recién recibidos en la Universidad de La Habana, además de las visitas periódicas de Profesores de la Universidad de Leningrado como: V. Smirnov, A. Petrov, V. Niementz, M. Braun, L. Lavzovsky, Molchanov, Zanadvorov, P. Borodin etc. Con la colaboración de estos últimos en esta etapa que se extiende hasta 1976 es que verdaderamente se inician las investigaciones científicas aplicadas con un nivel no muy alto y en muchos casos repitiéndose aplicaciones ya publicadas, pero con la clara conciencia de su necesidad e importancia para el desarrollo ulterior de la Física en la Universidad y su entorno provincial.

Para lograr y mantener esto, era vital establecer y mantener una fuerte comunicación y nexos internacionales con visitas cortas o prolongadas de los miembros del claustro a centros de otros países. De esta forma entre 1971 y 1972 aproximadamente 10 de los miembros del recién formado claustro parten hacia las Universidades de Leningrado, la Técnica de Dresden y a Estocolmo, unos para intercambios de experiencia docente o cursos cortos y otros para realizar estudios de posgrado, conducentes a la obtención del grado científico de Doctor (Candidato a Doctor en aquella época). En 1970 Miguel Matute<sup>2</sup> hace una visita de seis meses a Italia. En septiembre de 1971 Homero Fuentes y Carlos Cabal viajan a RDA y a la URSS estableciendo o fortaleciendo los Convenios con la Universidad Técnica de Dresden y la Universidad de Leningrado acordándose el envío de Profesores a Cuba y de estudiantes de

doctorado cubanos a esas universidades. Luis Aguilar y Miguel Catasùs en 1972 visitan la Universidad de Leningrado. Profesores franceses encabezados por Henry Pezerat imparten cursos de postgrado sobre métodos de caracterización de materiales en 1970.

Entre los años 1971–1972 algunos recién graduados de la Universidad de Oriente participan en los cursos de verano que se ofrecían en la Universidad de la Habana por profesores franceses, entre ellos: Guillermo Lucambio y Luis Méndez.

Hasta 1976 en total se habían graduado 40 físicos<sup>6</sup> algunos en Física Nuclear; la matrícula de la Escuela en ese curso era de unos 50 alumnos repartidos en todos los años, todos los graduados de la Escuela presentaban Tesis o Trabajos de Diploma.

Los principales temas de investigación, hasta 1976, son los mencionados en (Pérez Rojas et. al. 1976). Aunque la actividad más fuerte se desarrolló en el Departamento de Óptica y Espectroscopia, pero aunque también en el Departamento de Física Nuclear que tomó mayor auge alrededor de la mitad de la década. Las investigaciones en espectroscopía se desarrollaron en conexión con la industria del níquel, con técnicas de emisión y absorción atómica, según dos líneas de trabajo: directamente sobre el producto de la planta dirigida por Miguel Catasús y sobre las lateritas encabezados por Jorge Ricardo. En Rayos X y Metales se estudiaron fundamentalmente transformaciones de fase.

En 1968, Soto del Rey comienza a impartir Física a los estudiantes de los primeros años de Medicina, e inmediatamente se percata de que la forma y el método con que se impartía la asignatura había que adecuarlos a los intereses de los estudiantes, creando la asignatura de Física para Médicos. Este curso tuvo gran aceptación y los profesores solicitaron recibir este curso como postgrado, posteriormente ya en la década de los setenta la Facultad de Biología solicitó los servicios de Soto del Rey para impartir con la misma óptica el curso a los estudiantes de Biología. Producto de este trabajo Soto del Rey publicó en la editorial “Oriente” en 1988 una obra en cuatro tomos titulada Introducción a la Biofísica (Soto del Rey Introducción a la Biofísica 1988). Soto del Rey siempre tuvo la visión y la concepción que en la realidad cubana y sobre todo oriental el físico tenía que tener dos orientaciones una era la Física Técnica y la otra la Física Biológica, como él la llamaba. Esa idea era fija, argumentada y con antelación al hecho de impartir las clases a los médicos y luego a la carrera de Biología de la Universidad.

---

<sup>6</sup> Registro de graduados, Secretaría General Universidad de Oriente.

Para el bienio 1976–1977 regresaron del extranjero los primeros que marcharon por estancias prolongadas muchos con sus doctorados defendidos o con una formación más fuerte e insertada en el programa científico de cada uno de sus respectivos Departamentos, fundamentalmente en los de especialización. Siendo Margarita Cobas Aranda en Óptica y Ramón Pomés Hernández en Cristalografía de rayos X los primeros doctores defendidos en La Universidad de Leningrado. En este sentido la Escuela de Física de la UO fue pionera en la especialidad de Óptica y Espectroscopia en Cuba, graduado a los primeros especialistas en esta rama, también hubo un alto desarrollo en la de Física Nuclear y en la de Rayos X y Metales, siguiendo la filosofía propia de la Escuela de ser experimental – aplicada.

### **Un período de desarrollo (1976–1985)**

Al crearse el Ministerio de Educación Superior en 1976 la Escuela de Física y su Departamento de Física Electrónica dejaron de existir oficialmente, en tanto los otros departamentos pasaron a formar parte de la Facultad de Ciencias Física, Química y Matemática, y posteriormente a finales de 1980 se crea la Facultad de Física y Matemática cuyo primer Decano (1980–1989) fue el físico Dr. Carlos Cabal Mirabal quien había defendido su doctorado en la Universidad Estatal de Leningrado.

El aumento del nivel y rigor científico – académico, que comenzó a introducirse en el año 1976 por el regreso de los integrantes del claustro con cursos de Posgraduación en el extranjero y el intercambio básicamente con la RDA y la URSS se intensifica y para 1985 se van recogiendo significativos logros como: El claustro de treinta y cinco profesores contaba con ocho Doctores (Candidatos a Doctores en Ciencias, como se denominaban en ese tiempo), uno de ellos formado en la propia “Escuela de Física” y ya catorce tenían las Categorías de Profesores Titulares o Auxiliares.

Estos y otros éxitos, que se iban obteniendo se sintetizan en 1983 en el Proyecto de Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) “Laboratorio Métodos Físicos de Análisis” (Proyecto UCT 1983) como se transcribe a continuación:

En los 13 años de creación de la especialidad de Física en la Universidad de Oriente se han tenido logros sustanciales en la formación de cuadros científicos de alta calidad y el trabajo científico-técnico vinculado a los problemas económicos de las provincias orientales y del país... la actividad investigativa del personal calificado ha obtenido importantes resultados científicos que sitúan sus trabajos a la cabeza de las investigaciones en varios campos de la física aplicada en nuestro país, como son: la espectroscopia atómica y la cristalografía... podemos mencionar los siguientes:

- Aplicación de las técnicas de neutrones para la determinación de humedad de suelos cubanos.
- Determinación de la estructura de la sacarosa crecida en el experimento Zona del vuelo cósmico conjunto soviético – cubano.<sup>7</sup>
- La determinación de la composición de minerales cubanos, datos que sirvieron para la confección del mapa geológico 1:100000 en lo referente a metales nobles.
- Una producción científica de más de un centenar de artículos en revista nacionales e internacionales, la participación en más de 80 eventos científicos, de ellos 10 de carácter internacional en la URSS, RDA, Holanda, Canadá ... .

Este proyecto se quedó sólo como tal, pues no se oficializó, no obstante de forma incipiente la UCT de forma extraoficial comenzó su trabajo, creando algunas bases organizativas y más que todo afianzó la idea de tener una unidad de investigación como extensión de la facultad para su proyección científica en la búsqueda de soluciones a problemas de la sociedad con los métodos de la física.

Por otra parte el colectivo de investigadores fue galardonado con los siguientes premios, entre otros:

- Tercer lugar del concurso 250 aniversario de la Academia de Ciencias de la URSS del Dr Ramón Pomés
- Segundo lugar del concurso “Jóvenes Científicos” del Instituto de Física de la Universidad de Leningrado en 1979 y el Primer Lugar de Concurso de Jóvenes Científicos de la Universidad Estatal de Leningrado en 1980 del Dr Carlos Cabal
- Dos estudiantes incorporados a los grupos científicos recibieron la medalla “Forjadores del Futuro”.

Se publican diversos materiales de información científica, textos, manuales y se prepararon otros que vieron la luz en los dos o tres años siguientes, entre estos:

- “Métodos de determinación de oro en Minerales”, (Cobas, 1980).
- “Estudios de soluciones electrolíticas paramagnéticas con el método de RMN. Estudios de los procesos de solvatación” (Cabal, 1982).
- “Colección de problemas resueltos I (Sobre tareas de la Física Matemática y aplicaciones a la Física”. (Parera, Roca, Grave de Peralta, López, 1984).
- “Métodos electrónicos en la física experimental”. (Méndez, 1986).
- “Introducción a la Biofísica”. (Soto del Rey, 1988).

---

<sup>7</sup> Ver el Capítulo de Ernesto Altshuler et al. sobre los experimentos físicos - técnicos en el espacio.

La motivación por las carreras de ciencias naturales y matemáticas siempre ha sido un problema para el desarrollo de las ciencias básicas en los países sub desarrollados, en particular en Cuba, manifestándose en matriculas de pequeñas cifras y con una débil inclinación hacia la profesión, lo que ha tenido que ver con: la pobre tradición de estas ciencias en el país, un subdesarrollo científico tecnológico, una débil infraestructura de centros de investigación antes de los años 60 y una débil formación de los profesores de nivel medio. En el periodo de 1980–1988 se encamina una intensa labor de orientación vocacional y entre otras actividades se desarrollan: las Olimpiadas del Saber en Física, Química y Matemática con la participación de centenares de estudiantes de los institutos preuniversitarios de toda la zona oriental del país, se impartieron cursos de preparación para Profesores de la enseñanza media se publicaron más de una decena de artículos de Divulgación Científica en la Revista Bohemia (principal revista de circulación nacional), el Periódico Sierra Maestra (de la ciudad de Santiago de Cuba) y en el boletín Oficial de la Universidad de Oriente y se desarrollaron programas de televisión con vistas a divulgar las posibilidades de la física en el contexto social cubano.

Todo este quehacer científico – investigativo, incipiente en la década de los años 70 e inexistente antes se reflejaba en la labor académica de pregrado, pero también en la de posgrado (inexistente antes), con la impartición de diversos cursos, entrenamientos e implementación de un Programa de Doctorado.

En 1977, el entonces Departamento de Física Nuclear presenta el Proyecto “Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional” a coordinar nacionalmente y obtener financiamiento con el PNUD el cual fue aprobado por la Comisión Nacional para el uso Pacífico de la Energía Atómica en 1979 (Proyecto PNUD, 1979) sin cambios sustanciales en cuanto a sus objetivos y equipamiento solicitado, pero sí, con la inclusión de otras entidades académicas del país que laboraban en temas afines.

Un hecho de relevante valor y que marca el reconocimiento de la “Escuela de Física” de la UO por la comunidad de Físicos del país, fue la celebración entre el 27 y el 29 de Junio de 1985, del III Simposio de la Sociedad Cubana de Física en sus predios. Evento que se desarrolló exitosamente y hasta el momento el único celebrado fuera de la capital del país.

## **Un período de tránsito (1985–1993)**

Al comienzo de la década de los 80 hubo decisiones políticas a nivel nacional como: la creación del Departamento de Física para las Ciencias Técnicas, que en 1985 pasa al Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella en la propia ciudad de Santiago de Cuba; la eliminación de las especialidades de los planes de estudio desde 1982; el cierre de las investigaciones aplicadas de la Física Nuclear por decisión de la Secretaria Ejecutiva de Asuntos Nucleares (SEAN) entre 1985 y 1986, además de la imposibilidad de contar con los recursos financieros y de equipamiento de los dos proyectos citados arriba.

Estos fueron factores que propiciaron al inicio, una débil emigración, pero que se fortaleció con el tiempo del personal más calificado del claustro de la “Escuela de Física”. En cuestión de dos años emigraron unos diecisiete Profesores – Investigadores, reduciéndose el número de Doctores a cuatro, el de Profesores Titulares y Auxiliares a cinco, por esta emigración el claustro se comenzó a completar con personal recién graduado o de graduados con otra formación. Así para 1993 el claustro se había renovado prácticamente en su totalidad, al tenerse en cuenta la jubilación de los Drs. R. Soto del Rey y L. Aguilar Salcedo y el lamentable fallecimiento de uno de los primeros graduados el Ingeniero Físico Arturo Guzmán quien se encontraba finalizando su tesis de doctorado en Relajación Magnética en sistemas paramagnéticos de Tierras Raras.

Lo anterior trajo como consecuencia que la atmósfera científico – académica y la filosofía con había surgido la “Escuela de Física” disminuyera, pero con el esfuerzo realizado por los pocos que no emigraron, en compañía de algunos recién incorporados al claustro se logro en el bienio 1986–1987, cambiar las líneas de investigaciones, pues las iniciales de Física Nuclear, Óptica y Espectroscopia y Rayos X y Metales habían desaparecido de la Escuela como consecuencia del cierre de las especializaciones en 1982, con el comienzo de los planes de estudios “B”.

Algunos de los que no emigraron, con la adquisición en 1987 de un Microscopio Electrónico, se incorporaron a entrenamientos para adquirir una nueva especialización relacionada con estas técnicas, básicamente en la esfera de las Ciencias de los Materiales. Otros se dedicaron a la automatización de experimentos como herramienta de trabajo y a la Física Computacional, las que se combinaron o aplicaron a los campos de la Biofísica, la Física Médica y la Biotecnología; a estos campos se vincularon otros métodos, como los de la RMN, grupo de

investigación creado en 1981; obteniéndose algunos resultados en el cuatrienio 87–90 que definieron el camino a seguir en el futuro, algunos de ellos son:

- En el año 1987 se crea un grupo multidisciplinario de Física Médica, que da sus primeros pasos en el Hospital Oncológico “Conrado Benítez” de Santiago de Cuba y se logran investigaciones conjuntas, que incluían al Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología, realizando trabajos de automatización, simulación y cálculos de pruebas radioisotópicas con un Renógrafo Computadorizado, cuyo primer paso fue “Pruebas cuantitativas en el análisis de renogramas”.
- Colectivo más destacado de la Universidad de Oriente el “Grupo de Resonancia Magnética” por: “Establecer una metódica metodología para evaluar la cinética de la polimerización de la Hemoglobina S en pacientes con anemia drepanocítica (Sicklemlia)” y “Estudios preliminares para la clasificación de linfadenopatías para la cuantificación del cáncer de mamas”
- El Grupo de Física Médica obtuvo el Premio al Mérito Científico por el resultado aplicado de mayor beneficio económico con el Fotopletismógrafo analógico digital UOANGIO - 01, realizado en colaboración con el Hospital Provincial de Santiago de Cuba “Saturnino Lora” y el Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Cardiovascular.

En diciembre de 1987 comienza a desarrollarse el proyecto 35 - 26-7 RMN<sup>8</sup> (Cabal 1999; Castro, Cabal et al. 2002) a petición de la máxima dirección del país que incluía el desarrollo de la tecnología cubana de fabricación de equipos de Imágenes de Resonancia Magnética para la medicina. El proyecto era resultado de la imposibilidad de adquirir esta tecnología ya que las firmas comerciales en aquel entonces tenían que solicitar licencia a los Estados Unidos de Norteamérica.

Cinco físicos, uno solo con grado científico de Doctor, y varios estudiantes de los últimos años junto a ingenieros comienzan este proyecto que tenía como objetivo calcular, diseñar, construir, montar, caracterizar, validar, registrar y aplicar equipos de Resonancia Magnética de imágenes para el sistema nacional de salud. Ya a inicios del año 1991, el primer equipo de imágenes estaba ya funcionando en un hospital. Además de los primeros tres equipos de imágenes de cuerpo completo, se fabricaron varios relaxómetros, magnetómetros de Resonancia Magnética y se formó un colectivo multidisciplinario (físicos, ingenieros, químicos, cibernéticos, etc.) con un elevado nivel científico y reconocimiento a nivel nacional e internacional.

---

8 Vea el capítulo de Carlos Cabal, Proyecto de Resonancia Magnética 35 -26 -7. Un caso cubano de Ingeniería Física y Biofísica.

En 1994 se obtuvo el Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba por el trabajo Relaxómetro de Resonancia Magnética Nuclear “GIROMAG” y Metodología para la Caracterización del Proceso de Polimerización de la HBS y en 1995 el Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba por el trabajo “Tomógrafo Giroimag”. En septiembre del 1996 el trabajo del colectivo cubano dirigido por el Dr Cabal obtuvo el Premio **“Giorgio Alberi in Memoriam” Fist Prize in the V International Conference on Applications of Physics in Medicine, Trieste, Italia**. Con los años más premios de alto nivel nacional y otros internacionales fueron conferidos como resultado de la labor científica desplegada.

Este proyecto ha sido considerado por expertos cubanos como uno de los proyectos físico técnico de más alcance y complejidad. Junto con el desarrollo físico técnico de los equipos y las tecnologías conexas surgieron nuevas direcciones de las investigaciones en el campo de la biofísica molecular y celular que aun hoy siguen teniendo un alto impacto en la biotecnología y la industria medico farmacéutica cubanas. Este proyecto conto con cierto apoyo internacional sobre todo del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo Brasil bajo la dirección del Profesor Horacio Carlos Panepucchi, quien falleció recientemente.

El proyecto, sus resultados y el colectivo formado fueron las bases sobre la que se inauguró por Fidel Castro Ruz Presidente del Consejo de Estado el 10 de febrero del 1993 el actual Centro de Biofísica Médica con un edificio fabricado y equipado para el desarrollo científico y sus aplicaciones a la Biomedicina. En esa inauguración, el Comandante en Jefe Fidel Castro expresó una idea que constituye uno de los pilares conceptuales de la ciencia cubana contemporánea:

La ciencia y las producciones de la ciencia deben ocupar, algún día, el primer lugar de la economía nacional. Tenemos que desarrollar las producciones de la inteligencia. Ese es nuestro lugar en el mundo, no habrá otro. En eso podemos discutir con los Japoneses, con los alemanes.

En estos nuevos campos se intentó vitalizar y fortalecer la identidad con que surgió la “Escuela de Física”, pues concuerdan con ideas anteriores del Dr. R. Soto del Rey de desarrollar la Biofísica, intentándose abrir una especialidad de Posgrado en Biofísica Médica (Cabal, Méndez, Grave de Peralta, 198X), siguiéndose la estructura de las Maestrías en Ingeniería Biomédicas latinoamericanas, en específico de Brasil y México, la cual no se aprobó.

Posteriormente existieron cambios sucesivos de estructuras dentro de la Universidad y fue creada en el 1991 la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, dentro de la cual estaba el Departamento de Física con su carrera de Licenciatura en Física.

## **Renacimiento del nuevo Departamento**

A partir de 1993, después de las emigraciones mencionadas, comenzó un periodo de recuperación al establecerse líneas de investigaciones científicas diferentes a las existentes al fundarse la Escuela de Física en 1970, así: El antiguo grupo de Óptica y Espectroscopia, se transformó en uno de Fluorescencia y Aplicaciones del LASER dirigido por el Dr. Jorge Ricardo Pérez. Se creó un grupo de Física Teórica apoyado por el Departamento de Física Teórica de la Facultad de Física de la Universidad de la Habana, dirigido por el Dr. Raúl Riera Arocha con trabajos en el campo de las nanoestructuras, presentando trabajos en revistas y eventos internacionales, como III International Conference on Nanostructured Materials. Se conformó un grupo de trabajo experimental en Ciencias de Materiales dedicado al estudio de propiedades eléctricas y térmicas de conductores iónicos; propiedades de los materiales ferroeléctricos; propiedades magnéticas de materiales magnéticos blandos dirigido por el Dr. José Anglada Rivera. Se formó un grupo de investigación en Didáctica o Enseñanza de la Física en el nivel universitario, liderado por el Dr. Juan Guillaron Llaser y el MSc. Luis Méndez Pérez que ha presentado trabajos consecutivamente desde el I Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria celebrados en la Universidad de la Habana desde 1997 y en otros eventos nacionales e internacionales y también un grupo dedicado a las investigaciones en Fluido Dinámica Computacional, dirigido por el MSc. Rafael Mut Benítez en colaboración con la Universidad de Barcelona. Las investigaciones actualmente se desarrollan en programas nacionales de ciencias básicas del Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), como ciencias de la computación y nuevos materiales.

Se han obtenido diferentes premios y reconocimientos, como:

- Premio Destacado en el XIV Forum Nacional de Ciencia y Técnica.
- Las Ordenes Carlos J Finlay y Lázaro Peña del Consejo de Estado otorgadas al Jefe del proyecto 35 26 7.
- 2003 Medalla Conmemorativa de los Diez Años del Sindicato de la Ciencia.

- 2004 Distinción “Juan Tomás Roig” del Sindicato Nacional de Trabajadores de la Ciencia.
- 2004 Premio Anual de la Salud al mejor artículo científico.
- En el año 2002, un profesor fue ratificado como Académico Titular de la ACC para el período 2002–2006, el Dr. Carlos Cabal Mirabal.
- Un profesor es Junior Associate en el International Center for Theoretical Physics of Trieste (ICTP).
- Premio Nacional de Física “Manuel F. Gran” del año 2010, Dr. Carlos Cabal Mirabal.

También en la actualidad: Se defienden maestrías en Ciencias Físicas, se tiene un diplomado en Enseñanza de la Física, se tienen proyectos de investigación y colaboración con Universidades de México, Brasil, España y Venezuela.

En 1997 se celebró el I Simposio de Física “R. Soto del Rey In memoriam”, en el 2000 se celebró la Conferencia Internacional de Física “R. Soto del Rey In memoriam”, con la participación de especialistas de Brasil, España, etc.

El claustro de la carrera de Licenciatura en física ya en el 2005 estaba constituido por el 80% de profesores titulares y auxiliares, el 60% de doctores y del resto el 66,6% eran master en ciencias. Teniéndose un promedio de 5 artículos publicados por profesor en cada año fiscal.

Ya en año el 2007, el año del LX aniversario de la fundación de la UO, su inicial Cátedra de Física, había evolucionado, alcanzando diferentes estructuraciones, funciones y ramificaciones, como los actuales Centro de Biofísica Médica, Departamento de Física Aplicada y Departamento de Física. Este último, que ofrece la Licenciatura en Física acreditada por el Ministerio de Educación Superior de EXCELENCIA en el año 2005 y ratificando dicha condición en el 2010.

## **Conclusiones**

Al fundarse la Universidad de Oriente en el año 1947 la Física como ciencia estaba representada por una asignatura de Física en el pregrado de la carrera de Ingeniería Química Industrial, después se extendió a otras carreras de Ingeniería y posteriormente de Agronomía y Medicina. El Dr. Roberto Soto del Rey, primer profesor y catedrático de Física en la Universidad, ha sido un gran inspirador del desarrollo de la Física en ella. La evolución de la

Física llega a un estadio superior y adquiere vida propia en la Escuela de Física con sus primeros 19 graduados de Ingeniería Física en el año 1970.

Hasta el momento se han graduado más de 450 Físicos, incluidos algunos de países de América Latina y África. Esto ha creado una masa mínima de especialistas en la zona oriental del país para dar cobertura a las necesidades de la docencia de Física en la Educación Superior y a algunas investigaciones en sectores de la industria cubana.

Los físicos de la Universidad de Oriente por diversos caminos, salvando obstáculos propios de una etapa inicial y del subdesarrollo, con su quehacer docente e investigativo siempre han estado afianzando su razón de ser y han aumentado el impacto de la Física en la sociedad y las ciencias cubanas. No obstante, su desarrollo ha estado permeado por cambios frecuentes de la estructura universitaria, migraciones de algunos de sus especialistas y de una limitada base material para las investigaciones experimentales. Sin embargo, hoy son más evidentes para la Universidad y la sociedad, la necesidad de físicos para el desarrollo educacional, científico, técnico y económico del país. Los retos que están por delante para la física y los físicos son colosales, aunque no caben dudas que las nuevas generaciones conociendo estas raíces sabrán enfrentarlos en las nuevas circunstancias.

## Referencias

- Baracca A., Fajer V., Rodríguez C. “Historia de la Física en Cuba”, Editora Universitaria, Universidad de La Habana,
- Cabal C. 1982 “Estudios de soluciones electrolíticas paramagnéticas con el método de RMN. Estudios de los procesos de solvatación”. Serie Físico Matemática, Editora Universitaria, Universidad de Oriente Santiago de Cuba.
- Cabal C, Méndez. L. Grave de Peralta L. “Especialidad de Posgrado en Biofísica y Física Médica: una integración de las ciencias Físicas, Matemáticas, Químicas, Biológicas y Médicas”. Ponencia I Congreso Iberoamericano sobre Biotecnología”. Habana 1989.
- Cabal C. et al. 1999, en el libro, “Y sin embargo Ciencia”. ISBN 959-210-172-8, Editora Abril, Habana Cuba. pp. 56 – 66
- Castro F., Cabal C., et al: “Cuba Amanecer del Tercer Milenio. Ciencia, Sociedad y Tecnología: Biofísica Médica”, ISBN 959 -05 - 0283 -0 Editorial Debate, España. pp.31- 48
- Cobas M. 1980 “Métodos de determinación de oro en Minerales”, Serie Físico Matemática, Editora Universitaria, Universidad de Oriente Santiago de Cuba.
- Consejo Directivo de la UO. 1947 Acta No. 13 del , 23 de Octubre.
- Diario de Cuba (periódico) 1947. Santiago de Cuba, 12 de Octubre.

- Fernández Bertrán J. 1962 “Informe sobre la visita a Institutos de Física Italianos”  
Univertidad de Oriente.
- González del Valle F., Agramonte A. 1944 “José Agustín Caballero Philosophia Electiva”.  
Vol. 1 Biblioteca de Autores Cubanos. Habana, Universidad de la Habana.
- González J., Fuentes H. 1968. “Ponencia al Encuentro de Graduados” Universidad de Oriente.  
Granma (periódico) 1997. Habana, 26 de febrero.
- Méndez L. 1986. “Métodos electrónicos en la física experimental”. Serie Físico Matemática,  
Editora Universitaria, Universidad de Oriente Santiago de Cuba.
- Parera J., Roca E., Grave de Peralta L., López R. 1984. “Colección de problemas resueltos I  
(Sobre tareas de la Física Matemática y aplicaciones a la Física”. Serie Físico  
Matemática, Editora Universitaria, Universidad de Oriente Santiago de Cuba.
- Pérez Rojas H., Stolik Nivigrod D., Fuentes Betancourt J., Rodríguez Castellanos C., D'Costa  
Méndez A., Alvarez Morales R., Lazo Orazabal B., García Tarajano E., González J.,  
Ramón Vázquez M y Arias Fuentes O. “Estado Actual de la Ciencias Físicas en  
Cuba” (1976). En las Ciencias Básicas: Examen Preliminar de su Situación en Cuba y  
a Nivel Mundial. Editado por J. Altshuler. Habana: Consejo Nacional de Ciencia y  
Técnica, Dirección de Ciencias Exactas y Naturales.
- Proyecto PNUD 1979. “Introducción de las Técnicas Nucleares a la Economía Nacional”  
CUB/77/001/C/01/18.
- Proyecto UCT. 1983 “Laboratorio Métodos Físicos de Análisis”, Facultad de Ciencias Físico  
- Matemáticas, Universidad de Oriente.
- Sierra Maestra (periódico) 1968. Santiago de Cuba 3 de Julio.
- Sierra Maestra (periódico). 1982 Santiago de Cuba, 6 de Octubre.
- Soto del Rey R. 1968 “Actividades docentes a desarrollar en este semestre”. Comunicación al  
Jefe de Departamento de Física, 9 de noviembre de noviembre 1968.
- Soto del Rey R. 1988. “Introducción a la Biofísica”. Editorial Oriente, Santiago de Cuba.
- Soto del Rey R. Aguilar Salcedo L. 1962 “Tensión superficial y soluciones líquidas”, Editora  
Universitaria. Universidad de Oriente.
- Soto H. (2000): “Biografía: Roberto Joaquín Soto del Rey”, Energía y Tu, No. 9: 33
- Tratado sobre colaboración amistosa entre la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba y la  
Universidad Técnica de Dresden, Dresden Technical University, May 1982.



## **04 Aproximación a la historia de la preparación de profesores de Física en Cuba**

**Diego de Jesús Alamino Ortega<sup>1</sup>**

### **Introducción**

La preparación regular y sistematizada de profesores de Física en Cuba es bien reciente, si se compara con el largo curso de la historia de esta ciencia, pero puede servir para mostrar respuestas interesantes en cuanto a la búsqueda de solución a un problema que inquieta a la comunidad científica: ¿cómo preparar a un profesor de Física que responda a los condicionamientos que la sociedad exige en un contexto y momento dado? La búsqueda de soluciones a la preparación de profesores de Física en Cuba ha transitado a través de continuidades y rupturas, con características originales, quizás atendiendo implícitamente la máxima de aquel que fue maestro de Bolívar, Simón Rodríguez, cuando en el siglo XIX advirtió “Cuidado, no sea que por la manía de imitar servilmente a las naciones cultas, venga la América a hacer el papel de vieja en su infancia”.

### **Antecedentes de la enseñanza y la preparación de maestros en Cuba**

Para lograr la aproximación a la historia de la preparación de profesores de Física en Cuba, se hace necesario antes introducir algunos comentarios, que muestren cómo ha evolucionado la enseñanza en este país, a la que está intrínsecamente aparejada la preparación de profesores.

Cuando en 1492 en Europa existían Universidades y se discurría acerca del lugar de la Tierra en el Universo, Cristóbal Colón llegó a América y encontró en Cuba a habitantes que vivían en un estado de Comunidad Primitiva. Los deseos desmedidos de obtener riquezas de los colonizadores condujeron prácticamente al exterminio de la población autóctona y muy lejos estuvo la preocupación por la enseñanza, la cual desde los primeros momentos, unida a la evangelización, fue ocupación de la Iglesia Católica.

El sistema educativo prevaleciente en España, extrapolado a Cuba, relegaba la enseñanza elemental en favor de la educación de la nobleza, el clero, los acaudalados propietarios y altos funcionarios, por lo que se le dio mayor importancia a la enseñanza media y superior. En

---

<sup>1</sup> Dpto. de Ciencias Exactas, Universidad Pedagógica “Juan Marinello”, Matanzas, Cuba.

1722 surge en Santiago de Cuba el Seminario San Basilio el Magno y en 1728 la Real y Pontificia Universidad de San Jerónimo de La Habana. Una institución de altos estudios, que fue fragua de la conciencia nacional y cuna de las ideas más avanzadas en filosofía, ciencia y pedagogía, resultó ser el Real y Conciliar Seminario de San Carlos y San Ambrosio, fundado en 1773 en La Habana. En estos establecimientos se potenciaba en primer lugar la preparación para carreras eclesiásticas y las humanidades, siendo prevaleciente, con la excepción del Seminario de San Carlos, el escolasticismo.

El comienzo de la enseñanza elemental sistematizada puede ubicarse en 1793, con la creación en La Habana por real cédula, de la Sociedad Económica de Amigos del País, que tenía entre sus preceptos “fomentar, vigilar y dirigir la educación pública”, este es el momento en que comenzaron a establecerse escuelas en casi todas las ciudades y villas. Es notorio destacar que en el naciente magisterio había muy poco de preparación y estos se limitaban, en su inmensa mayoría, a enseñar lo poco que sabían, circunscribiéndose a religión, lectura, escritura y las cuatro reglas de la aritmética. Fueron excepciones, algunas muy relevantes escuelas donde se asimilaban las mejores tendencias pedagógicas y filosóficas acerca de la educación, pero a las que asistían los estudiantes procedentes de los sectores de mayor poder económico.

La Sociedad Económica de Amigos del País, desde su constitución, realizó esfuerzos por oficializar el ejercicio magisterial mediante licencias para enseñar, una vez cumplidos ciertos requisitos. De este modo se fueron introduciendo en la enseñanza elementos filosóficos como soporte de la pedagogía y la didáctica.

A partir de 1842 el gobierno español promulgó la Ley General de Instrucción Pública y comenzó a hacerse cargo de la enseñanza, por lo que estableció para los maestros la titulación, proponiéndose la creación de una Escuela Normal de Maestros que no inició su funcionamiento hasta 1857. Esta institución, en dos años, preparaba maestros para la enseñanza elemental y superior. La preparación aquí consistió en primer lugar en estudios de religión y en lo científico resultaba muy limitada. El funcionamiento de esta escuela fue precedido al ser interrumpido por el inicio de la Guerra de los Diez Años en 1868 y graduó ciento doce maestros en toda su historia. Otras instituciones educativas que existían en este momento eran cuatro Institutos de Segunda Enseñanza, ubicados en La Habana, Santiago de Cuba, Matanzas y Puerto Príncipe, a los cuales se ingresaba desde los nueve años, con aproximadamente un cuarto grado y en los que exceptuando algo de matemática, todo lo que se enseñaba estaba comprendido en las humanidades.

En 1872 funcionaba una Escuela Preparatoria para Maestros, pero amparada por la Sociedad Económica de Amigos del País, retomando el primigenio propósito de esta Sociedad de habilitar maestros. Para 1880 se había ampliado a seis el número de Institutos de Segunda Enseñanza y se crearon las Escuelas Primarias Superiores. A la luz de un nuevo Plan de Instrucción Pública en 1890 se vuelven a potenciar las Escuelas Normales que iniciaron sus funciones en 1892 interrumpiéndose su curso por la Guerra de Independencia de 1995, gestada por el Héroe Nacional Cubano “José Martí”.

Con la intervención norteamericana en 1898 se frustró la independencia de Cuba y los ocupantes encontraron un país devastado a causa de la cruenta lucha. La educación no lo era menos y el interventor norteamericano la usó como una vía para resquebrajar la identidad nacional y despertar sentimientos anexionistas. También los EEUU necesitaban desarrollar la enseñanza para poder aprovecharse de las riquezas de Cuba de un modo más productivo que España, por lo que requerían formar urgentemente maestros y pronto se hizo una convocatoria para otorgar certificaciones como maestros de primero, segundo y tercer grado según fueran los exámenes vencidos. Jóvenes cubanos viajaron a estudiar en Escuelas Normales de los EEUU y en 1902 se establecieron Escuelas Normales de Verano, para la superación de los maestros que ya ejercían. Las primeras Escuelas Normales de la etapa republicana se fundaron entre 1916 y 1919; dos en La Habana y una en cada capital de provincia para un total de siete, con ingreso de sexto grado, extendiéndose después a octavo. Cuando se sistematizó el egreso de las Escuelas Normales, a los maestros preparados por vías alternativas se les posibilitó la equiparación.

## **Los primeros maestros de Física**

Desde el siglo XVIII hay referencias que indican que se impartían contenidos de física en instituciones de carácter religioso (católicas), incluida la Real y Pontificia Universidad de San Jerónimo de La Habana. El momento más prominente de esta etapa inicial de la enseñanza de la física en Cuba, lo protagoniza el presbítero Félix Varela Morales (1787-1853) quien impartió contenidos de física entre 1811 y 1820 como parte de sus Lecciones de Filosofía, en el Real y Conciliar Colegio Seminario de San Carlos y San Ambrosio en La Habana.

Ya en el siglo XX las universidades cubanas titulaban Doctores en Física-Matemática, Física-Química, en Pedagogía, Ingenieros y Arquitectos que se dedicaban a la enseñanza de la física, ubicada por lo general dentro de las Ciencias Naturales. En esta etapa vale destacar al Doctor

Manuel Francisco Gran Gilledo (1893-1962) por sus esfuerzos en dignificar la enseñanza de la física, para lo cual escribió bien dotados textos y durante casi 40 años, desde 1923 hasta pocos meses antes de su fallecimiento, ejerció la docencia en la Universidad de La Habana. Egresados de las prestigiosas Escuelas Normales para Maestros, también se inclinaron por la enseñanza de la física, la cual se desarrollaba en estas instituciones dentro de la asignatura Ciencias Naturales y ya para bien entrado el siglo XX se empleaban textos tales como Elementos de Física de Manuel Gran y la Física Descriptiva de H. E White para su impartición, pero propiamente no existían profesores graduados de física en Cuba.

Con el triunfo revolucionario de 1959, comenzó un proceso de reestructuración de toda la enseñanza y el 18 de septiembre de ese año, el Ministerio de Educación emitió una resolución que en su primer por cuanto establecía: “Procede proveer mediante pruebas de selección técnica las Cátedras de los Centros Secundarios Generales y Profesionales cubiertas provisionalmente y necesarias a la debida organización de la enseñanza”, normando todo el procedimiento a seguir. A partir de este momento comenzó también a impartirse lo que se denominó cursillos para la preparación emergente de los maestros de enseñanza secundaria. Las clases en las provincias se iniciaron en junio de 1960, con duración de seis meses y frecuencia de dos horas tres veces a la semana. Ya para este momento se había creado el Instituto de Superación Educacional desde el 20 de abril de 1960, cuya función consistió en atender la superación sistemática del personal docente y bajo cuya supervisión se desarrolló la preparación de los maestros. Esta institución estuvo encargada de extender títulos de Profesor de Secundaria Básica en la Especialidad de Física, para los que cumplieran los requisitos según resolución ministerial.

El programa de física para los cursillos, que se repitieron en años sucesivos, contenía experiencias de laboratorio en las que se evidenciaban: propiedades de los cuerpos, diferentes fenómenos térmicos, la inercia, mediciones de fuerza y masa, presión de líquidos, empuje, presión atmosférica, poleas, palanca, plano inclinado, reflexión y refracción de la luz, espejos esféricos, lentes, construcción de un anteojito, descomposición de la luz, sonido e instrumentos musicales, electrización, experiencias con imanes, brújula, construcción de una pila y asociación en un circuito, conexión en serie y paralelo e instalación de un timbre. La bibliografía por la que más se trabajaba en los cursillos era: “Elementos de Física”, de M. Gran (dos tomos) “Tratado Popular de Física”, de Kleber y Karsten, “Introducción a la Física” (Mecánica, Calor) de Alonso y Acosta, “Física Curso Elemental” (Mecánica) de Alonso,

“Lecciones para Todos” de A. V. Piorishkin, publicado en las páginas centrales de la revista Bohemia de forma que se pudiera ir conformando el libro y “Conferencias Auspiciadas por el Colegio Nacional de Doctores en Pedagogía”. Conjuntamente con las clases teóricas, las actividades de laboratorio se hacían gracias a la existencia de un equipamiento modular de la marca ENOSA, cuyos manuales traían la descripción de las prácticas a realizar y en actividades metodológicas los profesores elaboraban los planes de clase, por lo que los egresados del cursillo salían con los requerimientos esenciales para impartir la asignatura.

## **Los Institutos Pedagógicos**

En 1962 se aprobó en Cuba la Reforma de la Enseñanza Superior y dos años después surgieron los Institutos Pedagógicos, adscriptos a las Universidades de La Habana, Las Villas y Santiago de Cuba y con ellos comenzó la preparación regular y sistematizada de profesores de Física, existiendo dos niveles, el nivel básico, que preparaba profesores para la Escuela Secundaria Básica, en una doble especialidad y otro nivel que se le denominaba superior, que permitía al graduado trabajar en la especialidad de Física en el bachillerato o preuniversitario. La preparación se desarrollaba con diferentes variantes de planes de estudio, incluidos los de doble especialidad y por lo general los estudiantes permanecían en régimen interno disfrutando de becas.

El énfasis fundamental de la preparación impartida en los Institutos Pedagógicos a los futuros profesores de Física recaía en la matemática y la física, con la correspondiente preparación pedagógica y psicológica. La Física comenzaba con el estudio de la Mecánica y abarcaba todo lo relativo a la Física General, incluyendo una asignatura de Física Moderna y en la medida de las posibilidades materiales se acompañaba de demostraciones y experimentos. Los textos más empleados en el estudio de la Física, en diferentes etapas fueron: “Elementos de Física” de Manuel Gran, el de “Física General Moderna” de R. L. Weber y colaboradores, “Física General” de F. W. Sears y M. W. Zemansky, “Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería” de R. Resnick y D. Halliday y “Física General” de S. Frish y A. Timoreva. La preparación de estos estudiantes tenía un alto componente de práctica docente en la escuela.

En 1971 comenzaron a funcionar cursos para trabajadores por la modalidad de la enseñanza a distancia, fundamentalmente a través de encuentros periódicos de los estudiantes-trabajadores con los profesores y asistiendo en determinados momentos a períodos intensivos de clases. Esta resultó ser una vía de superación, con la posibilidad de llegar a obtener un título, de

aquellos que sin ser maestros o poseer una carrera ejercían la profesión por el conocimiento que mostraban de las asignaturas que impartían, téngase en cuenta que hubo que esperar a que se graduaran los primeros incorporados a los Institutos Pedagógicos para que Cuba tuviera profesores especializados en física y esto ocurrió a finales de la década del 60.

### **Plan de formación de profesores de educación general media**

Como consecuencia de la extensión de la educación primaria y los altos índices de escolarización y retención obtenidos después de 1959, se produce una explosión de matrícula en el nivel secundario y para enfrentarla, en 1972 se crea el Destacamento Pedagógico “Manuel Ascunce Domenech”, en el que estudiantes graduados de secundaria básica se forman como profesores de enseñanza media en una modalidad que combinaba la labor docente con el estudio en los Institutos Pedagógicos. A este plan ingresaban alumnos con solamente noveno grado vencido y a la vez que se formaban como maestros estaban incorporados a la práctica en la escuela, con un número elevado de horas dedicadas a esta actividad, primando la necesidad de contar con alguien que supiera más para enseñar al que sabe menos, pero siempre con asesoría de profesores experimentados. El plan de estudio duraba 5 años y los estudiantes recibían clases diariamente en una sesión y en la contraria ejercían en la escuela como maestros. El plan de preparación contenía diez semestres de Matemática y lo mismo de Física, en este último caso con un fuerte componente en experimentos y demostraciones, contando con un instrumental muy actualizado de procedencia fundamentalmente sueca. Se les impartía dos semestres de Química y de Español, la Psicopedagogía abarcaba seis semestres y una vez concluida comenzaba la Didáctica Especial en dos semestres. El idioma que se impartía era el inglés en seis semestres y los fundamentos de Marxismo ocupaban dos semestres del quinto año, en el cual también se impartían los Seminarios Especiales para profundizar en temas específicos de la física y su enseñanza.

Como el nivel de entrada a este plan era de secundaria básica, el estudiante debía a través de él vencer el bachillerato a la vez que se preparaba como profesor, aunque no alcanzaba el espectro cultural del bachiller, pues el plan estaba dirigido hacia lo esencial en el maestro de Física: conocimientos de física y matemáticas. Es importante destacar que este profesor recibió no solamente la preparación teórica en la física sino que dispuso de preparación experimental. La actividad de tipo científico estudiantil, mediante la cual los estudiantes se

vinculan a la investigación, solamente se desarrolló en forma extracurricular por alumnos aventajados ya que no se incluía como parte del plan de estudio como sucede en la actualidad.

El título que se les otorgó a los graduados mediante este plan tuvo un carácter habilitador para el ejercicio de la profesión, ofreciéndose posteriormente una ampliación con duración de dos años para la obtención del título de Licenciados en Educación en la especialidad de Física y Astronomía, equivalente al de los que cursan estudios regulares. La ampliación comprendía: Métodos Matemáticos de la Física, Mecánica Teórica, Teoría de la Relatividad y Electrodinámica, Física Atómica, Física Nuclear, Mecánica Cuántica y Física Estadística. Además: Teoría de la Educación y Elementos de Organización Escolar, Historia de la Pedagogía, Economía Política y Comunismo Científico.

## **La Licenciatura en Educación**

En 1976 los Institutos Pedagógicos se convierten en Institutos Superiores Pedagógicos (ISP), como centros independientes de las universidades y constituidos como Universidades Pedagógicas en sí. En estas instituciones comienza a desarrollarse la Licenciatura en Educación, que incluye la especialidad de Física y Astronomía, con un plan de estudios de cuatro años; para el ingreso a los ISP se exige a los estudiantes haber vencido el bachillerato. Este primer plan de preparación se ha denominado A y en opinión del autor marcó la mayoría de edad en cuanto a la preparación de profesores en Cuba, en particular de profesores de Física, manteniendo un adecuado nivel de preparación práctico-docente, incorporado armónicamente al plan de estudios y ya no subordinado a la necesidad de ejercer la docencia; profundizando en la preparación académica, en particular en física y matemáticas e incluyéndose las asignaturas de Física Teórica en la formación del profesor de Física. La conformación de la disciplina de estudio de Metodología de la Enseñanza de la Física, introducida por primera vez, con un total de 170 horas clase, resultaba significativa con miras al ejercicio de la profesión del futuro profesor. La conclusión de estudios se estableció a través de Exámenes Estatales o en el caso de los que hubieran logrado resultados relevantes en la carrera, realizarían un trabajo científico, que se ha dado en llamar Trabajo de Diploma. Después de este denominado plan A y atendiendo a un proceso continuo de perfeccionamiento, aparecieron diferentes variantes que mejorarían el mencionado plan con las disciplinas y las asignaturas que lo componían. Entre las modificaciones capitales realizadas se puede mencionar la extensión del tiempo de duración de la carrera a cinco años,

con un incremento en la preparación en la Metodología de la Enseñanza de la Física que ahora contaría con 268 horas clase. Para el perfeccionamiento de los planes de estudio se esperaba que transcurriera un ciclo de preparación y se procedía a una rigurosa validación de todo el plan incluyendo las asignaturas, convocándose a la Comisión Nacional de Carrera y sometiendo los planes y programas a procesos de oponencia, lográndose un consenso general, a nivel del país de cómo debía procederse para lograr niveles superiores de preparación de los profesores. Esta forma de trabajo se extendió hasta el año 1990, cuando fue puesto en vigor el denominado plan C, que llegó a contar con un documento en formato de libro, en el que se especificaba desde el modelo del profesional, hasta los programas en detalle, de cada una de las asignaturas a impartir. El logro de este plan, aunque no llegó a llevarse tal y como fue concebido a la práctica, fue otro momento importante en lo que respecta al diseño curricular para la preparación de profesores y en particular de Licenciados en Educación en la especialidad de Física y Electrónica, que así fue como se denominó la carrera a partir de ese momento.

Para el desarrollo de las asignaturas de Física General en estos planes se han continuado empleando los textos de Halliday y Resnick, “Física para Estudiantes de Ciencia e Ingeniería” el de Frish y Timoreva (tres tomos) de “Física General” además de “Física Molecular” de I. Kikoin y A. Kikoin, “Curso de Física General” de I. V. Savéliev (tres tomos), “Conceptos de Física Moderna” de A. Baiser, “Mecánica” de S. Strelkov, “Óptica” de G. S Landsberg, entre otros, unidos a los de autores cubanos que paulatinamente fueron editándose. En el caso de la Física Teórica se emplearon: “Mecánica Clásica” de H. Goldstein, “Classical Electrodynamics” de J. D. Jackson, “Electrodinámica Clásica” de M. Brédov y otros, “Física Teórica” de B. G. Levich (tres volúmenes), “Física Teórica” de L. D. Landau y E. M. Lifshitz (tres volúmenes), “Quantum Mechanics” de D.I. Blokhintsev y “Theoretical Physics” de A. S. Kompaneyets, algunos de estos libros significaban una exigencia muy alta para los estudiantes y fueron haciéndose publicaciones de autores cubanos más adecuadas a los programas. Se puede apreciar por los autores de los textos, que se combinan los procedentes de de EEUU y de la desaparecida URSS, en el caso de esta última también se contó con asesores en las Universidades Pedagógicas y estudiantes cubanos cursaron estudios para graduarse de profesores de Física en la URSS así como que asistieron a cursos de superación, incluyendo doctorados.

En etapas posteriores y para dar cabida a un incremento de la preparación del profesor en cuanto a su encargo social, se suprimió la impartición de la Física Teórica y se elevó el número de horas dedicadas a la Metodología de la Enseñanza de la Física y la práctica en la escuela.

En curso 2002–2003, para responder a transformaciones operadas en la Secundaria Básica, comienzan a prepararse Profesores Generales Integrales (PGI) para esta enseñanza en las Universidades Pedagógicas en un plan de cinco años. Los egresados como PGI lo hacen con título de Licenciados en Educación y tendrán el encargo de impartir un número amplio de asignaturas en la Secundaria Básica, entre ellas la Física, para lo cual se les prepara en los contenidos y la metodología de esta asignatura en el nivel correspondiente. En 2003-2004 para enfrentar las transformaciones que se producen en el Preuniversitario se inicia la preparación de profesores de Ciencias Exactas, en un plan de cinco años que los capacitará para impartir Física y Matemática en el preuniversitario. El plan de estudio de esta carrera recorre toda la Física General y la Matemática, incluyendo la metodología de la impartición de estas asignaturas en el correspondiente nivel. Ambas carreras, Ciencias Exactas y PGI tienen una amplia participación en la práctica en la escuela ya que el estudio se realiza a partir del segundo año con vínculo total a la escuela, recibiendo clases a través de la modalidad de Educación a Distancia. El título de los egresados de Ciencias Exactas también será de nivel universitario: Licenciado en Educación. De estos planes solo se han obtenido las primeras graduaciones por lo que aún está en proceso de evaluación su competencia.

## **Epílogo**

Con el propósito de lograr que el profesor de Física responda a las exigencias de la sociedad, diferentes planes de preparación de profesores de Física se han desarrollados en Cuba, aunque siempre ha estado presente como un invariante la vinculación con la práctica en la escuela. La urgencia de maestros de Física, por diversas razones, ha sido una de las exigencias que ha llevado a instrumentar diversas soluciones, por eso el recorrido por el camino de la preparación de profesores de Física Cuba ha transitado por continuidades y rupturas.

## Referencias

- Alamino, D. de J. “Raíces Históricas de la Enseñanza de la Física en Cuba: desde Varela a Gran; un material para maestros de Física”. Ensayos Históricos. Anuario del Instituto de Estudios Hispanoamericanos, Universidad Central de Venezuela, segunda etapa No. 17, 2005.
- Alamino, D de J. y Simon, G. “Physics Education in Cuba”, 129 American Association of Physics Teachers Meeting, Sacramento, CA, July 31- Aug. 4, 2004.
- Fernández, J.R. Conferencia “Desarrollo de la Educación en Cuba”, Pedagogía 86, 27 al 31 de enero de 1986 Palacio de las Convenciones, Cuba.
- García, G.J. “Bosquejo Histórico de la Educación en Cuba”, Editorial de Libros para la Educación, La Habana 1978.
- Ministerio de Educación, Licenciatura en Educación. Carrera Física y Electrónica. Plan C. Programas, Editorial Pueblo y Educación, La Habana 1990.
- Sosa, E. y Penabad, A. “Historia de la Educación en Cuba”, Editorial Pueblo y Educación, 2001

## NOTA

Otros documentos consultados han sido programas, planes de estudio y textos que se han empleado en la enseñanza de la Física, así como testimonios de ex-alumnos y profesores, a los cuales el autor agradece su colaboración.

## **05 Una entrevista con el Profesor Melquiades de Dios Leyva, Diciembre 2008**

**Olimpia Arias de Fuentes<sup>1</sup>**

### **Introducción**

La historia de la Física en Cuba no podría hacerse, sin mencionar a este importante físico cubano, profesor de Mecánica Cuántica, que constituye un ejemplo de lo más genuino de nuestra política educacional después de 1959: Educación para todos, en todos los niveles, sin distinciones, sin elitismo. Esta es una entrevista realizada por la Dra. Olimpia Arias de Fuentes, Investigadora Titular del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad de La Habana y Profesora Adjunta de la Facultad de Física de la propia Universidad, a Melquiades de Dios Leyva, Profesor Titular de la Facultad de Física y Profesor de Mérito de la Universidad de La Habana.

### **Apuntes biográficos y profesionales**

Melquiades de Dios Leyva nació el 9 de diciembre de 1938 en la provincia de Santiago de Cuba. En 1959 era un joven que contaba escasamente con un 6to grado de nivel primario. En aquellos tiempos, su mayor mérito estaba asociado a su participación en la lucha clandestina contra la tiranía batistiana y como miembro del Ejército Rebelde en el Tercer Frente “Mario Muñoz”. Los cambios sociales ocurridos en Cuba en 1959 le brindan la oportunidad de acceder a estudios de forma sistemática y es así como, por exámenes de ingreso, en 1963 obtiene una beca, otorgada por la Revolución, para realizar estudios en la Universidad de la Habana. Se gradúa de Licenciado en Física en 1968 (carrera creada en 1962 por la Reforma Universitaria). A partir de este momento comienza su vida laboral como profesor de la Escuela de Física de la Universidad de La Habana. Fue el primer profesor de la Enseñanza Superior del país en obtener el nivel de Maestro en Ciencias. En 1979, después de una estancia de cuatro años en la Universidad Estatal de Moscú (Universidad Lomonosov), en la antigua Unión Soviética, obtuvo el grado científico de Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas. Con más de cuatro décadas de experiencia en la enseñanza, ha contribuido

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

enormemente a la formación de la inmensa mayoría de los físicos cubanos, los cuales tienen un criterio excelente de la maestría pedagógica y docente de este profesor. Ha escrito libros y publicado numerosos artículos científicos en revistas internacionales de gran impacto. Fue miembro asociado del ICTP (Centro Internacional de Física Teórica) con sede en Trieste, Italia. Ha recibido varias condecoraciones, entre las que se destacan la Orden “Frank País” reconocimiento conferido por el Consejo de Estado a solicitud de Ministerio de Educación Superior, por su extensa trayectoria en la docencia y su contribución al desarrollo de la educación cubana. También ha sido galardonado con la Orden “Carlos J. Finlay”, la más alta condecoración que otorga el Estado Cubano a personalidades científicas que hayan realizado una importante contribución a la ciencia nacional, así como el Premio Nacional de Física otorgado por la Sociedad Cubana de Física por su importante papel en el desarrollo de la Física en Cuba.

## **Entrevista**

**O. Arias de Fuentes:** Conocemos que Ud. nació y vivió durante sus primeros 20 años en un intrincado pueblecito de campo, perteneciente a Palma Soriano, provincia de Santiago de Cuba, ¿cómo fue posible que pudiera Ud. acceder a estudios en la capital del país?

**M. de Dios Leyva:** Es cierto, mi origen es campesino y mis primeros 20 años de vida transcurrieron en un humilde pueblito de campo de la antigua provincia de Oriente. Allí solo había una pequeña escuela primaria y la mayoría de los pobladores eran analfabetos totales o funcionales. Nadie, absolutamente nadie, tenía posibilidades ni esperanzas de superación, estábamos sentenciados a la ignorancia. Pero, el triunfo de la Revolución Cubana el 1ro de Enero de 1959 cambió por completo el panorama social del País y, en particular, nuestro destino. Todos los cubanos fuimos convocados inmediatamente a superarnos y no lo pensé mucho. En enero de 1959 llegué a la Capital como miembro del Ejército Rebelde e inmediatamente comencé a aprovechar las posibilidades de superación que se nos brindaba.

**O. Arias de Fuentes:** ¿Pensó Ud. alguna vez en convertirse en un profesor universitario?

**M. de Dios Leyva:** Nunca, desde aquel pueblito de campo era imposible imaginarse eso, ni siquiera en sueños. Pero le digo una cosa: cuando en enero de 1959 vi por primera vez la escalinata de la Universidad de la Habana y su imponente Alma Mater, sentí que algo desconocido me decía: “Tú puedes llegar, todo depende de ti”. Y así fue, varios años después era ya estudiante de esta gloriosa Universidad.

**O. Arias de Fuentes:** ¿Por qué eligió la Física como profesión?

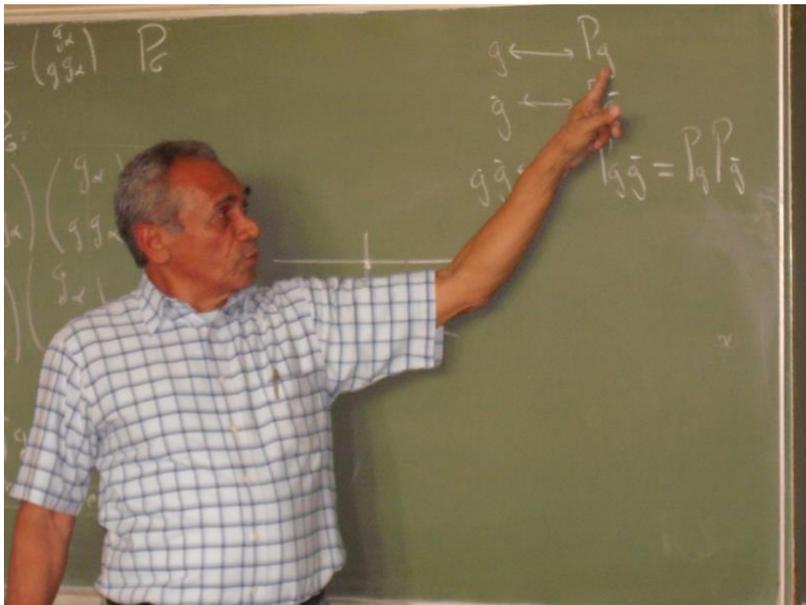
**M. de Dios Leyva:** Esa idea surgió de una conversación que tuve con mi profesor de Física en la enseñanza preuniversitaria. Esa conversación comenzó cuando él me dijo que su familia era muy humilde y que sus estudios los había realizado con tremendo sacrificio. Me dijo, inclusive, que para poder costear sus estudios tuvo que trabajar muy fuerte, y que la mayoría de las veces estudiaba por las madrugadas alumbrándose con velas. Él, conocedor también de mi origen humilde, me preguntó acerca de cuál era la carrera universitaria de mi elección. No sé, le contesté, pero me gustan mucho la Geometría y la Óptica Geométrica que he aprendido. Él enseguida respondió: “entonces tu futuro es la Física”. Y así fue.

**O. Arias de Fuentes:** ¿Cómo ha sido su desarrollo y proyección en esta especialidad durante todos estos años y qué importancia considera que ello ha tenido para la Física en Cuba, tanto desde el punto de vista científico como en la formación de otros profesionales.

**M. de Dios Leyva:** Bueno, la política educacional y laboral seguida por la Revolución Cubana a partir de 1959 me permitieron mantener un desarrollo continuo en mi profesión. Inmediatamente después de graduado en 1968 comencé a trabajar como Profesor en la entonces Escuela de Física de la Universidad de la Habana. Puedo decirle que la inmensa mayoría de los físicos cubanos fueron mis alumnos y creo que ayudé bastante a su formación como personas y profesionales. Muchos de ellos, después de graduados, se han acercado a mí para reconocer eso. Mi desarrollo científico fue relativamente rápido debido a que muchos científicos amigos de la Revolución vinieron, en las décadas del 60 y del 70, de muchas partes del mundo a colaborar con el desarrollo científico de nuestro país. Esa fue la época de los famosos Cursos de Verano que tanto influyeron en nuestro desarrollo científico y docente. Como resultado de esa ayuda defendí, en 1972, mi Tesis de Maestría en Ciencias Físicas. Dos años después fui seleccionado para hacer el doctorado en Moscú, antigua Unión Soviética, en la Universidad Estatal de Moscú. Así, en 1979 era ya Doctor en Ciencias Físicas Matemáticas de tan prestigiosa Institución. Después continúe trabajando y hoy en día he publicado más de 90 artículos científicos en revistas internacionales especializadas, dos libros relacionados con la docencia que imparto y algunos resultados han sido reconocidos por diferentes instituciones científicas. En estos momentos soy Profesor Titular y de Mérito de la Universidad de la Habana.

**O. Arias de Fuentes:** ¿Qué siente el profesor Melquíades cuando rememora su aporte a la formación de físicos en otros lugares del mundo?

**M. de Dios Leyva:** Es cierto que he colaborado también a la formación de físicos y químicos en diferentes partes del mundo, tanto en la enseñanza de pregrado como en la de postgrado. Por ejemplo, cumpliendo Misión Internacionalista participé de manera voluntaria, durante dos años, como Profesor en la Universidad de Luanda, Angola. Es reconfortante estar en Cuba o en el extranjero y encontrarte con alguien que ayudaste a formar, que te da las gracias por eso. Este sentimiento no sólo ocurre con los estudiantes extranjeros, también con los cubanos. Es importante decir que muchos de esos estudiantes de ayer son hoy figuras docentes y científicas con amplio reconocimiento nacional e internacional.



**Figura 1:** Profesor Melquiades de Dios Leyva impartiendo clases en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana. (Foto cortesía de la Dra. Olimpia Arias de Fuentes).

**O. Arias de Fuentes:** Basado en su experiencia, ¿qué aconsejaría a los futuros profesionales de Física y otras Ciencias Naturales y Exactas?

**M. de Dios Leyva:** Que el trabajo docente y científico es muy importante para el desarrollo sostenido de cualquier país, y en especial del nuestro, el cual está obligado a desarrollar al máximo esas actividades para poder enfrentar con éxito las limitaciones que tenemos de recursos naturales. El trabajo docente y científico exige, por supuesto, mucha dedicación y perseverancia. Esto está avalado por el hecho de que aquellos docentes y científicos que han hecho aportes importantes al desarrollo de sus países y de la humanidad se han caracterizado por su consagración y perseverancia. Estos atributos fueron los que caracterizaron a Einstein, el cual, pese a su genialidad dedicó más de diez años de su productiva vida científica para

llegar a la Relatividad General. Entonces, seriedad, consagración y perseverancia es lo que le aconsejaría a los futuros profesionales de la Ciencia. Además, soy del criterio que, como dijo nuestro gran José Martí en el siglo XIX: “Todo hombre tiene derecho a que se le eduque y después en pago, contribuir a la educación de los demás”.



## **06 La física experimental en semiconductores: la voluntad de contribuir al desarrollo económico del país**

**Elena Vigil Santos<sup>1</sup>**

En la segunda mitad de la década del sesenta, el claustro de la entonces Escuela de Física, perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Habana, aumenta considerablemente; después de haberse casi extinguido por la emigración de profesores que ocurre con posterioridad al triunfo de la Revolución Cubana. Este incremento se nutre con los primeros físicos formados en ella<sup>2</sup> y con el regreso de los primeros graduados de Física en el extranjero, fundamentalmente, provenientes de la hoy extinta Unión Soviética. Este grupo de recién graduados que se ve obligado a asumir como inexpertos profesores, constituye un núcleo que imprime al desarrollo de la Física en Cuba gran dinamismo y aceleración.

Se trabaja en la reestructuración de los departamentos y de los programas, tanto de la carrera, como de las asignaturas; y en la introducción de las investigaciones. Constituye un importante aspecto, el que estos jóvenes profesores estaban imbuidos de la necesidad de ser buenos investigadores para ser buenos docentes; de la necesidad de transmitir a los estudiantes no solo los conocimientos adquiridos en los textos, sino también, aquellos basados en la experiencia práctica de un físico. Se parte de la premisa de la obligatoriedad del desarrollo de las investigaciones en aras de una docencia de calidad y, a la vez, como aporte al desarrollo científico técnico del país.

Este joven, pero decidido claustro valora el desarrollo de las investigaciones en la Escuela de Física como una contribución a la intención de toda la sociedad cubana de emerger del grupo de los llamados “países subdesarrollados”; como potencialidad de poder incidir en la creación de modernas industrias basadas en nuevos conocimientos y tecnologías. La nueva estructura socioeconómica del país, el momento de efervescencia revolucionaria que se vivía y la existente euforia colectiva crean condiciones favorables para plantearse empresas difíciles de imaginar en otros países con situación económico-social semejante; de esto es ejemplo también el colectivo de la Escuela de Física. Se tiene además como premisa y conducta, la

---

<sup>1</sup> Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> La Escuela de Física fue creada en 1962. Anteriormente existían las Escuelas de Física-Matemática y de Química-Física; solo dedicadas prácticamente a la formación de profesores para el nivel preuniversitario.

unión de esfuerzos en aras de poder lograr el desarrollo de las investigaciones en Física en la Universidad de La Habana y en el país.

Algunos de los recién graduados devenidos en profesores tenían alguna experiencia investigativa, dada por las tesis de pregrado realizadas como estudiantes, y se debatía qué temáticas abordar, cómo contribuir al país, en qué líneas encausar las nacientes investigaciones. La Física del Estado Sólido y, en particular, la Física de Semiconductores, contaba con criterios favorables dados por su actualidad, despegue y vigencia en aquellos momentos. Apoyaban también esta temática, la influencia de especialistas extranjeros; tanto los que fueran tutores de los nuevos profesores, como profesores invitados de distintos países que durante espacios de tiempo variables apoyaron nuestro desarrollo. También, la apoyan varios físicos con reconocimiento internacional que nos visitan durante el Congreso Cultural de La Habana que celebrado durante las fiestas del fin de año 1967-1968. Coincidentemente, en ese momento se logra el primer diodo de aleación fabricado en la Escuela de Física. Todo lo anterior ayudó a catalizar la decisión de unir esfuerzos alrededor de la Física del Estado Sólido. Al mencionado Congreso le siguió el muy valioso apoyo de científicos europeos, principalmente franceses, a través de las Escuelas de Verano que tienen lugar entre el 68 y 72.

Se estructuraron grupos experimentales de investigación que abarcaban las temáticas de semiconductores, metales y magnetismo. Estas temáticas muy ligadas a posibles futuras industrias indican el objetivo de los físicos cubanos de contribuir, no solo a la mejor docencia, sino también al desarrollo del país. Se debe explicar que, hasta la segunda mitad de la década del setenta, la Escuela de Física tuvo una estructura que priorizaba y propiciaba el desarrollo de las investigaciones; siempre teniendo en cuenta su necesidad en aras de la docencia. Existía una estructura de secciones o departamentos docentes y una estructura paralela de grupos de investigación; de forma que cada profesor tenía una doble subordinación y función. Las investigaciones no se enmarcaban en las temáticas tradicionales de los departamentos docentes sino se concentraban en aquellas consideradas de interés perspectivo.

Revisaremos a continuación, a grandes rasgos, la actividad experimental en Física de Semiconductores, desde finales de la década del sesenta hasta la terminación del siglo pasado.

Las tareas que aborda inicialmente el Grupo de Semiconductores se relacionan con el desarrollo de nuevos dispositivos microelectrónicos y optoelectrónicos, así como, con el crecimiento de cristales. Los primeros trabajos consisten en crear instalaciones, tanto tecnológicas como de caracterización. Determinante en el desarrollo de esta infraestructura

experimental fue la asesoría extranjera. También muy importante fueron los talleres de mecánica, electrónica y vidrio creados dentro de la estructura de la Escuela de Física. En 1971 se organiza el Primer Seminario de Investigaciones Científicas (SIC) de la Facultad de Ciencias. Los resultados presentados en el mismo incluían solo desarrollos de instalaciones e implementaciones de técnicas, o sea, reflejaban la creación de una infraestructura investigativa para la realización de estudios posteriores. Vale remarcar que esta experiencia adquirida en el desarrollo de instalaciones, que continuó evolucionando, sería fundamental para lograr investigar y desarrollar tecnologías contando con escasos recursos.

Pronto se obtienen resultados significativos en Física de Semiconductores en una primera etapa inicial hasta 1975. Por ejemplo, en instalaciones completamente construidas en los laboratorios de Física, se desarrolla la tecnología microelectrónica de silicio que permite la obtención de un condensador CMOS y el ulterior desarrollo de circuitos integrados basados en esta tecnología metal-óxido-semiconductor. Además, se crecen los primeros monocristales y se obtienen diodos emisores de luz (LEDs de infrarrojo cercano) basados en arseniuro de galio. Conjuntamente, se caracterizan óptica y optoelectrónicamente semiconductores compuestos, así como, dispositivos basados en ellos.

Sin embargo, las primeras publicaciones de físicos experimentales cubanos en revistas de impacto no aparecen hasta finales de los setentas [1, 2]. Esto puede explicarse, por los esfuerzos que demandaba la ardua tarea de lograr resultados de interés científico y socioeconómico y por la falta de experiencia en publicar de los físicos en aquel momento. En el IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido (IV SLAFES), celebrado en La Habana en 1975, se muestra a los participantes una serie de logros en el desarrollo de las investigaciones que denotaban una situación totalmente diferente a la existente siete años antes, al celebrarse el Congreso Cultural de La Habana.

En la segunda mitad de la década del setenta se produce una contribución concreta de la Física del Estado Sólido al desarrollo nacional: se decide, por la Dirección del país, la compra y puesta en marcha de la Fábrica de Dispositivos Semiconductores “Ernesto Che Guevara” para la fabricación de componentes discretos y circuitos integrados. Esto lo motiva, en gran medida, los logros en la microelectrónica en la Universidad de La Habana, o sea, de la Escuela de Física y del Laboratorio de Microelectrónica perteneciente al hoy Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría” (ISPJAE). La Escuela de Física colaboró muy seriamente con este proyecto. El análisis de aquel momento llevó a la unificación de las

investigaciones en microelectrónica fuera de la Escuela de Física, pasando un grupo de profesores, que sin duda constituían un colectivo importante, a trabajar en la Fábrica de Semiconductores de Pinar del Río y en el ISPJAE.

Otras investigaciones en crecimiento de cristales y optoelectrónica de semiconductores continúan en la Universidad de La Habana en esta segunda mitad de los setentas. Se crecieron y estudiaron cristales de diferentes tipos: se obtuvieron monocristales de silicio, de germanio y de InSb; cristales planos de  $ZnIn_2S_4$  y capas delgadas de CdS. Se obtienen los primeros diodos emisores de luz roja (LEDs), llegando a obtenerse dígitos lumínicos integrados. A la vez, comienzan a aparecer publicaciones en revistas indexadas y se hacen más frecuentes los trabajos en memorias de eventos científicos y publicaciones nacionales.

Las investigaciones en materiales y dispositivos optoelectrónicos semiconductores encuentran en el Laboratorio que entonces dirigía el Académico Dr. Z. I. Alfeorov, en el Instituto Ioffe de la AC de la URSS en Leningrado (hoy San Petersburgo) gran coincidencia de intereses investigativos y un apoyo muy fuerte. (El Dr. Alfeorov obtuvo el Premio Nobel de Física en el año 2000). Esta colaboración fue esencial en la formación de doctores y se mantuvo desde la segunda mitad de la década del setenta hasta el derrumbe de los llamados países del Este. Además de las publicaciones conjuntas entre físicos rusos y cubanos, se obtuvieron resultados de impacto socioeconómico. Por ejemplo, se construyó un panel con seguimiento solar y concentración de la radiación basado en celdas solares de AlGaAs y se desarrollaron tecnologías de dispositivos optoelectrónicos. Se fabricaron y estudiaron en nuestros laboratorios: láseres semiconductores, LEDs, celdas solares y fotodiodos de silicio.

En 1980 tiene lugar el primer el vuelo Espacial Conjunto Soviético-Cubano. Es el colectivo experimental que trabajaba en Física de los Semiconductores quien participa por la Universidad de La Habana en la preparación de experimentos de crecimiento de cristales en condiciones de microgravedad. Los mismos, por su importancia, son tratados en otro trabajo en el presente volumen.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Para más información sobre estos experimentos, vea en este volumen el trabajo de José Altshuler et al sobre los experimentos físico-técnicos espaciales.

En 1981 ve la luz la Revista Cubana de Física. En ese primer año, 13 de las 27 publicaciones de todas las instituciones del país, son de Física de los Semiconductores, de las cuales 4 son del grupo de Física Teórica.<sup>4</sup>

En la primera mitad de la década del ochenta se alcanza la madurez de las investigaciones en materiales, estructuras y dispositivos semiconductores optoelectrónicos. Se dominan diferentes técnicas que incluyen tanto el crecimiento de estructuras como aquellas necesarias para llegar a tener los láseres semiconductores, LEDs, celdas solares y fotodiodos. Se destaca la epitaxia de la fase líquida para el crecimiento de heteroestructuras en base a GaAs/AlGaAs. Por otra parte, variadas y en algunos casos originales, fueron las técnicas desarrolladas para caracterizar y estudiar las estructuras y dispositivos obtenidos. Las publicaciones científicas basadas en estos resultados pertenecen predominantemente a colectivos de físicos cubanos.

En 1985 se crea el Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) en la Universidad de La Habana con el objetivo de apoyar el desarrollo de la industria electrónica en el país. Entre los resultados investigativos de las Facultades de Física y Química presentados a los niveles superiores del país para apoyar la creación de dicho Instituto estuvo el desarrollo de LEDs y celdas solares de silicio. El colectivo de investigadores experimentales en Física de Semiconductores pasa a formar parte del IMRE, unos grupos primeros, todos con el tiempo. Los profesores se incorporan como adjuntos y se incrementa el número de investigadores a tiempo completo. De nuevo, aunque con matices diferentes, se crea una estructura paralela a la estructura docente de la Facultad con el objetivo de apoyar el desarrollo nacional.

En la parte final de la década del ochenta se le pasaron a la fábrica de Pinar del Río tecnologías de fabricación de diodos emisores de luz; primero en base a difusión y después utilizando crecimiento epitaxial. Cuba, dentro de los países socialistas que constituían el Consejo de Ayuda Mutua Económica, CAME, estaba designada a largo plazo para el desarrollo y producción de dispositivos optoelectrónicos. También se trabajó coordinadamente con la fábrica de semiconductores para la introducción de fotodiodos y celdas solares de silicio.

---

<sup>4</sup> El grupo de Física Teórica se concentró desde sus inicios a finales de los sesentas fundamentalmente en la Física de Semiconductores. Aunque ha habido algunos ejemplos de trabajos conjuntos con los físicos experimentales, este grupo continuó su desarrollo independiente y se ha destacado por su abundante producción científica recogida en revistas con alto factor de impacto.

La desaparición del bloque socialista frenó los planes de desarrollo de la electrónica en Cuba, pero el colectivo de la Universidad de La Habana continuó trabajando en física de materiales y dispositivos semiconductores. Debe mencionarse que en el 93-94 se llegaron a crecer capas ultrafinas de GaAs en un equipo ruso de epitaxia de haces moleculares (MBE); crecimientos que no pudieron ser continuados. La década del noventa constituyó un período muy difícil para la economía del país que trascendió a todas las esferas. Se caracterizó por una depresión de la actividad experimental en las instalaciones propias de la Facultad de Física al ser crítica la situación de recursos materiales. Sin embargo, se acentuó la colaboración internacional de los profesores e investigadores en física de los semiconductores con otros laboratorios, principalmente latinoamericanos. La madurez alcanzada por estos físicos permitía optimizar la utilización de instalaciones existentes en laboratorios en otros países, producir publicaciones conjuntas y formar estudiantes de pregrado y posgrado.

Simultáneamente, se trata de mantener a toda costa la actividad experimental en el país. Bajo la premisa de investigar para ser mejores formadores de nuevos físicos, contribuir al desarrollo del conocimiento y obtener resultados de interés socioeconómico, se origina una cierta polarización hacia los trabajos alrededor de materiales y estructuras basadas en semiconductores con perspectivas de ser utilizados como celdas solares. En esta década del noventa se continuó trabajando coordinadamente con la Fábrica de Dispositivos Semiconductores “Ernesto Che Guevara” que abordó la fabricación de paneles solares con celdas importadas. Se colaboró en el desarrollo de la tecnología de fabricación de celdas solares de silicio, así como en el entrenamiento y formación de técnicos y especialistas en energía fotovoltaica.

Por último, es interesante señalar que el número de publicaciones en revistas de impacto fue en aumento en esos años difíciles.<sup>5</sup> Esto se logró gracias a la experiencia acumulada, una buena dosis de determinación y la colaboración con instituciones extranjeras. Esta última no solo permitió complementar resultados obtenidos en Cuba con análisis que requieren equipamiento sofisticado y costoso, sino que también motivó un fructífero intercambio de ideas y la amistad con muchos colegas extranjeros.

---

<sup>5</sup> Vea en este volumen el trabajo por Ernesto Altshuler sobre el impacto de la Física en Cuba a través de las publicaciones científicas.

## **Reconocimiento**

La autora agradece a José Folgueras, Adriana Fornés, Juan Fuentes, Osvaldo de Melo, María Sánchez-Colina, Daniel Stolik y Julio Vidal sus observaciones, la mayoría de las cuales fueron incorporadas.

## **Referencias**

- [1] L. Hernández, O. Vigil, F. González: Optical transitions and distribution of localized levels in ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, *Physica Status Solidi (a)*, Vol. 36, 1976, 33–XX
- [2] E. Vigil, J.A. Rodríguez, and R. Pérez Álvarez. Optical constants of n and p type GaAs between 2.5 and 3.5 eV. *Physica Status Solidi (b)*, Vol. 90, 1978, 409–414.



## **07 Primeros experimentos científicos cubanos en el Cosmos**

**José Altshuler, Octavio Calzadilla Amaya, Federico Falcón, Juan E. Fuentes, Jorge Lodos y Elena Vigil Santos**

Cuando Cuba se integró al Programa Intercosmos de los países socialistas, a mediados del decenio de 1960, apenas comenzaban a recogerse los frutos de la extraordinaria reforma educacional y científica iniciada poco antes en nuestro país. Pero cuando, diez años más tarde, la Unión Soviética ofreció el uso de sus instalaciones y naves espaciales a todos los países participantes, para que cosmonautas de éstos pudieran realizar experimentos científicos en el espacio cósmico, la situación había cambiado sustancialmente. En efecto, se pudo disponer entonces de más de 200 trabajadores vinculados a las actividades científicas y tecnológicas, que en breve plazo concibieron y prepararon, en estrecha colaboración con varias instituciones de las antiguas URSS, RDA y Bulgaria, más de una veintena de experimentos científicos que habían de realizarse en órbita circunferencial durante el vuelo Espacial Conjunto Soviético-Cubano, que tuvo lugar del 18 al 26 de septiembre de 1980.

Los especialistas soviéticos consideraron varios de los experimentos de diseño original cubano suficientemente valiosos para que algunos de ellos continuaran repitiéndose posteriormente en distintas aplicaciones, espaciales y no espaciales, tal como efectivamente ocurrió. Sin duda, aquellos experimentos, y otro que se preparó también para el vuelo espacial soviético-cubano --pero que no se realizó entonces, sino poco después, como indicaremos más abajo-- tienen importancia histórica, puesto que fueron los primeros de su tipo que se efectuaron en el mundo en condiciones de ingravidez. A lo cual hay que añadir que el cubano Arnaldo Tamayo fue el primer latinoamericano y el primer caribeño que llegó al espacio cósmico y trabajó en él con buen éxito. Pero quizás lo más interesante de aquel vuelo fue que lo aportado por los científicos cubanos resultó de interés tal que el país anfitrión se interesó en continuar la colaboración iniciada, que se mantuvo hasta la liquidación del Programa Intercosmos por razones extracientíficas.

Los experimentos de diseño cubano vinculados al mencionado vuelo espacial pueden agruparse en cuatro categorías: Médico-Biológicos, Psicométricos, de Exploración de la Tierra, y Físico-Técnicos. Aquéllos en cuya concepción e implementación desempeñaron un papel central los físicos de nuestro país, se incluyen en esta última categoría, y se

denominaron genéricamente Caribe, Azúcar, Zona y Holograma. A continuación, intentaremos una descripción sucinta de cada uno de ellos.

## **Experimento CARIBE**

Este experimento, desarrollado por el Laboratorio de Electrónica del Estado Sólido (LIEES) perteneciente a la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, continuaba los experimentos realizados sobre la temática de obtención de cristales y aleaciones en condiciones de ingravidez (o microgravidez) en el laboratorio espacial Skylab y el complejo orbital Soyuz-Apolo. Como partes del experimento CARIBE se realizaron a bordo la nave orbital Saliut 6, dos experiencias independientes usando los hornos Cristal (Caribe K-1) y Splav (Caribe C-1 o SK-1).

### **Caribe K-1: crecimiento de una aleación de Ge-In**

El experimento Caribe K-1 tenía como objetivos: el estudio de la perfección cristalina de los cristales crecidos en el espacio cósmico y en Tierra, y el estudio del efecto las condiciones de microgravidez en la distribución de impurezas durante la recristalización de monocristales de Ge fuertemente dopados con In. En el diseño de las experiencias se introdujeron un calzo de grafito y un muelle de cuarzo para la sujeción de la muestra en las ámpulas de cuarzo empleadas, una técnica novedosa destinada a evitar la posible rotura del ámpula debida a las vibraciones de la nave derivadas de las grandes aceleraciones requeridas de la nave de transporte [1]. De la caracterización por diferentes técnicas de las muestras de Ge-In se obtuvieron los siguientes resultados [2–4]:

- La perfección cristalina de la muestra crecida en el espacio fue muy superior a la del cristal análogo crecido en tierra, pese a presentar una burbuja de aire ocluida.
- El perfil de temperatura del horno Cristal provocó la aparición de dos celdas de circulación en el seno del fundido, lo que originó una variación inesperada en la curva de distribución de impurezas en el cristal crecido en órbita. Se corroboró que, en condiciones de microgravidez, pueden aparecer celdas de circulación por el perfil del horno, la aparición de las corrientes termocapilares y la difusión térmica de Soret.
- Las evidencias de convección en el seno del fundido encontradas en condiciones de microgravidez se corroboraron por medio de la modelación del experimento, resolviendo numéricamente las ecuaciones de la hidrodinámica.

Una referencia a los resultados de crecimiento de Ge-In en el experimento CARIBE aparece en el informe CR-208314 de la NASA [5].

### **Caribe C-1 o SK-1: crecimiento de capas epitaxiales de GaAs y AlGaAs**

Se obtuvieron, por primera vez, capas monocristalinas de GaAs y AlGaAs sobre sustratos de GaAs en condiciones de microgravedad [6-11] y se crecieron a partir de una solución de galio de pequeña altura (1,5 mm) por enfriamiento forzado. El diseño original de pequeños contenedores de grafito con las soluciones de crecimiento y sustratos, dentro de un ámpula de cuarzo sellada al vacío, permitió crecer 16 capas simultáneamente con cuatro diferentes regímenes de temperatura. Esto permitió realizar análisis comparativos entre ellas, y con las análogas crecidas en Tierra. Se estudió también la impurificación con Zn de las capas durante el proceso de crecimiento; y, adicionalmente, utilizando las capas crecidas, se fabricaron diodos emisores de luz, obtenidos por primera vez en estas condiciones. Otros resultados obtenidos fueron:

- La morfología de las capas crecidas en condiciones de microgravedad comparada con las crecidas en Tierra reveló que no se homogenizó la solución de crecimiento debido a la ausencia de convección, y también la existencia de una influencia relativa mayor de la tensión superficial.
- Los diferentes perfiles de concentración de aluminio medidos en distintos puntos en las capas de AlGaAs utilizando análisis dispersivo de rayos X (EDAX) apuntaron también a la no homogeneidad de la solución de Al en Ga por la ausencia de convección. Se determinó que el coeficiente de difusión de Al en Ga era menor que  $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2\text{-s}$ .
- Para los crecimientos en condiciones de microgravedad se obtuvieron, utilizando fotoluminiscencia, mayores concentraciones de Zn y valores más altos de la longitud de difusión de los electrones en GaAs:Zn, lo que indicaba una menor concentración de defectos estructurales. La emisión electroluminiscente corroboró la alta incorporación del Zn.

### **Experimento AZÚCAR**

El objetivo del experimento AZÚCAR fue la determinación del efecto, a nivel macroscópico, de la microgravedad sobre la cristalización de sacarosa a partir de su solución acuosa. Fue la primera vez que se estudió la cristalización de un material orgánico en condiciones orbitales

de microgravedez. El estudio fue realizado por especialistas del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ). Con anterioridad, los especialistas mongoles habían realizado el experimento Erdenet, con una solución acuosa de Sulfato de Cobre, un material inorgánico. Pero el experimento AZÚCAR se realizó sobre un material de mayor interés industrial y económico, vinculado con un gran número de sustancias de interés científico para las ciencias biológicas y médicas.

Se observó un incremento de la rapidez de la cristalización en vez y media contra los experimentos hechos por otros autores en condiciones controladas de laboratorio similares, y de ocho veces, contra los experimentos paralelos en tierra, con el mismo equipamiento y materiales. La explicación de este comportamiento pudiera estar relacionada con la forma de la adición de las moléculas de sacarosa a la red cristalina, que es el mecanismo de crecimiento que predomina en tierra a temperaturas menores de 50 grados Celsius [12 y 13].

### **Experimento ZONA**

Su objetivo fue la determinación del efecto de la microgravedez sobre la microtopografía de una cara cristalina y sobre su cinética molecular durante la cristalización. Fue el primer experimento espacial donde se usó una técnica específica (Fusión Zonal con Gradiente de Temperatura) para el estudio de los efectos de la microgravedez en la cinética de cristalización a nivel molecular. El experimento fue concebido e implementado por especialistas del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ).

La experiencia adquirida sugirió la posibilidad de efectuar en Tierra experimentos de simulación de la cristalización en condiciones de microgravedez cuando se cumpla la condición de que la velocidad de cristalización de la cara cristalina bajo estudio sea antiparalela a la fuerza de gravedad [15].

Esta experiencia apoyó la tesis doctoral “Utilización de la fusión zonal con gradiente de temperatura (FGZT) en el estudio de los mecanismos de cristalización de la sacarosa” [15 y 16].

De los experimentos AZÚCAR y ZONA se obtuvo información que contribuyó a incorporar nuevos datos útiles para la elaboración de modelos utilizables en la ciencia de materiales, información que se dio a conocer en revistas científicas y presentaciones en eventos, cuyo estudio y elaboración fueron objeto de tres tesis doctorales.

## **Experimento HOLOGRAMA**

Este experimento fue diseñado y equipado por el Instituto de Investigación Técnica Fundamental (ININTEF) de la Academia de Ciencias de Cuba, en colaboración con el Instituto Técnico Militar (ITM) y el Instituto Físico Técnico IOFFE de la Academia de Ciencias de la URSS. Se concibió, por una parte, con el propósito de valorar el grado de inmunidad al ruido que la redundancia propia del holograma podía ofrecer a la transmisión televisiva de imágenes bidimensionales desde el espacio; y, por otra parte, para demostrar la posibilidad práctica de que desde sus laboratorios en tierra, los especialistas pudieran contar para su estudio con imágenes tridimensionales de la evolución de determinados fenómenos producidos en órbita. La realización de las experiencias correspondientes se apoyó en la posibilidad de transmitir imágenes holográficas a tierra mediante el canal de televisión ordinario de la nave orbital, y en el empleo a bordo de un equipo láser diseñado al efecto. Aunque el experimento Holograma había sido desarrollado originalmente con vistas a su realización en órbita durante el vuelo espacial del cosmonauta cubano, fue necesario posponerlo por problemas de capacidad de transporte.

La parte inicial de este experimento se realizó a fines de 1980 a bordo de la estación orbital soviética Saliut-6 y la última, en marzo de 1981, durante el siguiente vuelo conjunto del Programa Intercosmos. La primera experiencia fue muy sencilla, pues consistió en captar con las cámaras de TV de la nave las imágenes de patrones con hologramas incorporados de antemano, y transmitirlos a tierra para luego comparar las fotos de las imágenes correspondientes en los monitores de tierra y de la nave. Posteriormente se procedió a transmitir información holográfica desde el centro de vuelos a la nave espacial por un canal de TV, ahora directamente sobre el tubo cámara situado en un montaje holográfico, por lo que sobre éste el holograma se formó con luz coherente, mientras que en la experiencia anterior, la imagen holográfica formada en el tubo de cámara de la nave se obtuvo a partir de un holograma realizado previamente, iluminado con luz no coherente y utilizando el sistema óptico convencional de la cámara de TV. Al igual que en la disposición experimental anterior, se transmitió la información holográfica por el canal de televisión, y se fotografiaron para su posterior comparación, los hologramas en los monitores de la nave espacial y del centro de vuelo. Los patrones transmitidos fueron miras semicirculares para la determinación de la resolución espacial en blanco/negro sin semitonos y para la determinación de la

gradación de semitonos, así como el logo Intercosmos nacional cubano, y el logo soviético URSS-Cuba.

En marzo de 1981, se utilizó una versión del equipo láser diseñado conjuntamente por el ININTEF, el ITM y el Instituto Ioffe para tomar imágenes tridimensionales del proceso de disolución y cristalización de sales en líquidos, por primera vez en condiciones de microgravedad, con vistas a la posible aplicación futura del procedimiento a la fabricación de materiales en órbita circunferreestre [17].

## Referencias

- [1] O. Calzadilla, J. Fuentes, J. Vidal, P. Diaz, R. Romero; C. Arencibia, E. Hernandez, L.M. Sorokin, I.I.Shulpina and A.S. Trebugova, "Influencia de la microgravitación en la estructura y distribución del elemento indio) en una aleación de Ge-In." Ciencias Técnicas, Físicas y Matemáticas, 17-21, Abril 1984.
- [2] O. Calzadilla, J. Fuentes, I. Shulpina and L. Sorokin, "Estudio de los Cristales de Germanio Dopados con Indio en el Experimento 'Caribe'." IX SLAFES, Latin American Seminar on Solid State Physics, Mar del Plata, Argentina (1985).
- [3] O. Calzadilla, J. Fuentes, I. Shulpina y L. Sorokin, Caracterización estructural de una aleación de Ge-In crecida en el Cosmos. RCF, VI, No. 2, 47-52, (1986)
- [4] O. Calzadilla, "Estudio de la influencia de la convección en los crecimientos por el método de Bridgman". Tesis de Doctorado, Universidad de la Habana (1994)
- [5] L. Riegel and W. Wilcox, Modeling of detached solidification. Final Report, NASA-CR-208314, (1996).
- [6] E. Vigil y P. Díaz, Capas epitaxiales de GaAs y AlGaAs obtenidas en condiciones de ingravidez: características y propiedades. Tercera Conferencia Científica de la Univ. de La Habana, (1981).
- [7] Autores, Experimento Caribe: Crecimiento de capas epitaxiales y uniones p-n de GaAs y AlGaAs en el cosmos. Memorias de la Conferencia de Países Socialistas sobre Ciencia de Materiales Cósmica, Riga (1983) (en ruso)
- [8] P. Díaz, E. Vigil, R. Romero, E. Purón, S. de Roux, F. Sánchez, V.M. Andreev, S.G. Konnikov, T.B. Papova, Homo y heteroepitaxia de GaAlAs-GaAs en condiciones de ingravidez. I Simposio Nacional sobre Investigaciones Espaciales, La Habana, 1983
- [9] P. Díaz, E. Vigil, R. Romero, E. Purón, S. de Roux, F. Sánchez, V.M. Andreev, S.G. Konnikov, T.B. Papova, Homo y heteroepitaxia de GaAlAs-GaAs en condiciones de ingravidez. Ciencias Técnicas, Físicas y Matemáticas, No.4, p. 23 28 (1984)
- [10] E. Vigil, "Estudio y aplicación del GaAs y sus soluciones sólidas con GaP y AlAs para la confección de diodos emisores de luz". Tesis de Doctorado, Capítulo 3, Universidad de La Habana (1984)
- [11] E. Vigil, P. Díaz, V.M. Andreev, C.G. Konnikov, Capas epitaxiales de GaAs y AlGaAs obtenidas en condiciones de microgravedad. IV Seminario Mejicano de Física Electrónica, CINVESTAV, México, D.F., 1984

- [12] Morera R., Lodos J. et. al., "Estudio del crecimiento de monocristales de sacarosa en el Cosmos: el experimento Azúcar". Conferencia Internacional de Ciencias de Materiales en el Cosmos, Riga, URSS, 1983.
- [13] Morera R., Lodos J. y Casanova E., "Crecimiento de monocristales de sacarosa en el espacio cósmico". Ciencias Técnicas, Físicas y Matemáticas, 3-10, Abril 1984.
- [14] Falcón F., Pérez P. y Zhukov G., "Fusión zonal con gradiente de temperatura en el sistema H<sub>2</sub>O-sacarosa en condiciones de microgravedad". Ciencias Técnicas, Físicas y Matemáticas, 11-16, Abril 1984
- [15] Falcón F., Pérez P.V., Ameneiro S., Zhukov V.D., "Fusión Zonal con Gradiente de Temperatura en el sistema H<sub>2</sub>O-Sacarosa en condiciones de Microgravedad. Experimento Espacial "ZONA". Kosmicheskaja Issledovanie. Tomo XXIII , Vol 3, 1985, p. 488-492.
- [16] F. L. Falcón Rodríguez, "Utilización de la fusión zonal con gradiente de temperatura (FGZT) en el estudio de los mecanismos de cristalización de la sacarosa", Tesis de Doctorado, Universidad de Oriente, (1987)
- [17] Gurievich, S. B., Homs, R., et. al., "Holografía de procesos y objetos en la estación cósmica Saliut 6". Journal of Technical Physics, vol. 52, No. 11, pp. 2192-2197, 1982, URSS (en ruso).



## 08 Sobre los sistemas complejos en Cuba

**Oscar Sotolongo Costa<sup>1</sup>**

Al referirnos al surgimiento y desarrollo de las investigaciones en Física de los Sistemas Complejos en Cuba, debemos necesariamente ser breves por razones de espacio, pero, para comprender mejor la génesis de este campo tan amplio precisamente en Cuba y en la etapa histórica de su origen, narraremos con algún detalle unos pocos resultados de algunas investigaciones muy ilustrativas, sobre todo algunas de las iniciales emprendidas en Cuba.

La cubana vocación ecléctica, que ha incorporado al acervo cultural desde la creación de novedosos resultados en biomedicina a nivel mundial hasta cultos sincréticos, haya propiciado este campo de trabajo, caracterizado por la sinergia con campos diversos, y a definir como objetos de estudio sistemas que hasta hace poco parecían lejos de la acción del físico: Llamémosles “sistemas complejos”.

La complejidad es un concepto nacido de nuestra experiencia diaria y lo hemos usado en los contextos más diversos. Por ejemplo, los físicos nos referiríamos a fenómenos como la caída libre o el movimiento de un péndulo como fenómenos relativamente “sencillos”, mientras que nuestro sistema económico, el lenguaje, etc., constituyen sistemas “complejos”.

Si algo parece haber de común en todos estos sistemas, es no sólo la existencia de un gran número de partículas sino, fundamentalmente las correlaciones entre las diferentes partes del sistema, lo que pudiéramos llamar una dinámica “coordinada”.

No es difícil observar que en todos los sistemas donde existe este tipo de correlación hallamos estructuras.

Por ejemplo, las sociedades se ordenan conforme a determinados sistemas políticos. No faltan tampoco estructuras en el dominio estrictamente espiritual como en el lenguaje, la música y hasta en la ciencia. Muchas veces estamos tan habituados a la presencia de estas estructuras que hemos dejado de ser conscientes del milagro de su existencia.

---

<sup>1</sup> Cátedra de Sistemas Complejos “Henri Poincaré”, Universidad de La Habana, Cuba; Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Nuestros antepasados les atribuían un origen divino. Así, durante mucho tiempo la ciencia se ocupó casi exclusivamente de la configuración de las estructuras, no de su formación. El interés de investigar la génesis es en realidad reciente.

Por otro lado, desde la década de los 60 y gracias a la introducción progresiva de las computadoras, somos testigos de la introducción de nuevos métodos para la descripción de la naturaleza. Desarrollos que se producían en forma paralela en distintas ramas de la física convergen finalmente y demuestran que la separación entre lo “simple” y lo “complejo”, entre el “orden” y el desorden” es mucho menor de lo que había parecido hasta ahora.

En la actualidad se sabe que incluso ejemplos sencillos, sacados del currículo de pregrado, pueden presentar un comportamiento complejo. Un péndulo, impulsado por una fuerza pulsante periódica presenta eventualmente una rica variedad de posibilidades de movimiento entre las que se cuentan separaciones casuales y turbulentas de la posición de equilibrio. Sistemas convencionales tales como una capa de fluido o una mezcla de reactivos químicos pueden dar lugar, bajo determinadas condiciones, a fenómenos de autoorganización de dimensiones macroscópicas en forma de estructuras espaciales o de ritmos temporales.

## **La necesidad**

En el año 2002, fué inaugurada oficialmente la Cátedra de Sistemas Complejos “Henri Poincaré”, en ocasión de celebrarse el aniversario 40 de la creación de la carrera de Licenciatura en Física en la Universidad de La Habana.

Para entonces, el colectivo que compondría este grupo ya exhibía algunos resultados que se traducen en la publicación de más de 50 artículos en revistas de nivel nacional e internacional, además de presentaciones en eventos y con un reconocimiento general que incluye relaciones con científicos de más de 20 universidades.

¿Pero por qué los sistemas complejos? ¿Y por qué en Cuba precisamente?

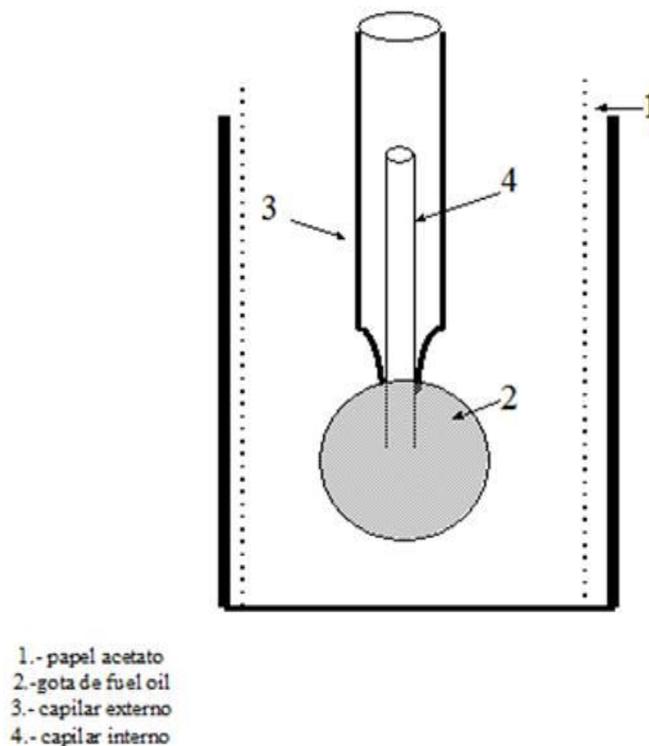
El catalizador por excelencia del estudio de estos sistemas fué y sigue siendo, como veremos, la difícil situación económica que sufre Cuba desde la catástrofe del campo socialista, agravada por el bloqueo, lo que obligó a desarrollar al máximo la creatividad. Por otro lado, las investigaciones a nivel mundial demostraban que este campo era apropiado para ser desarrollado como una oportunidad de entrar en un campo competitivo a nivel mundial

La escasez de combustible, el problema más grave, se tradujo entre otras cosas en apagones interminables y en el uso sistemático de bicicletas.

Al principio fue difícil imaginar la implicación de la bicicleta para el estudio “tropical” de los sistemas complejos, como se verá.

## Roturas y criticalidad

Al tratar de buscar sistemas más eficientes para la combustión, se comenzaron a usar emulsiones agua-combustible en distintos lugares. Los físicos comenzaron a estudiar el problema de la combustión de las gotas de emulsión mediante una simulación del proceso de microexplosión de una gota de combustible inyectando aire dentro de gotas de fuel-oil. La cámara de aire era una cámara de bicicleta.



**Figura 1:** Esquema del dispositivo de rotura de gotas.

La figura muestra el montaje experimental para estudiar la fragmentación de la gota: como se ve, la gota que cuelga de un capilar es penetrada por otro capilar aún más fino por el cual se inyecta aire para romperla. Los fragmentos se coleccionan en la pared del dispositivo que es de papel acetato. Estos se cuentan luego en el microscopio y se clasifican por tamaño. Se comprobó que para presiones de inyección suficientemente grandes no hay un tamaño

característico de gota en una amplia región de tamaños, o sea no se puede definir una “unidad de longitud” para caracterizar la distribución. Esta propiedad fractal, o de invarianza de escala, fue un hallazgo interesante para los investigadores en ese momento.

Los resultados iniciales demostraron la existencia de una estrecha relación entre la eficiencia de la combustión y las características fractales de la distribución de las gotas. Quedó entonces claro que la geometría fractal puede usarse en problemas técnicos donde es impensable la aplicabilidad de la geometría “clásica”. Los resultados fueron publicados (*Phys. Rev. E* 49, 4027 (1994)), sin mencionar la anónima cámara de bicicleta.

Los procesos de rotura han continuado siendo objeto de estudio de este colectivo, traduciéndose en resultados aplicados, por ejemplo, a la criticalidad en roturas (*Phys. Rev. Lett.* 76, 1, 42-46 (1996)), terremotos (*Phys. Rev. Lett.* 92, 048501 (2004)), etc.

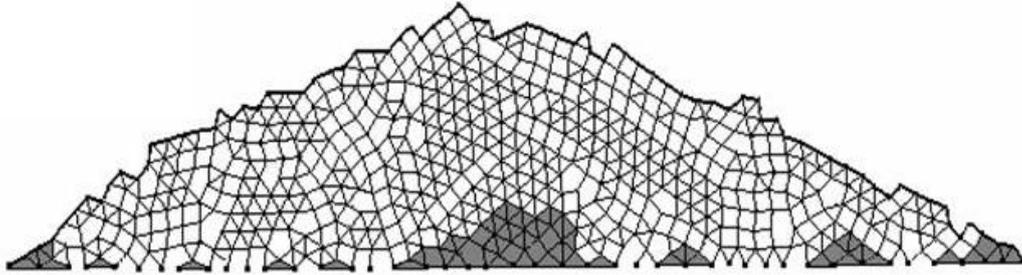
## **Pilas de granos**

Poco después de la publicación del modelo BTW, científicos y laboratorios de nivel mundial se olvidaron de sofisticados láseres, máquinas de sputtering y aceleradores de partículas, para... ¡”jugar” con arena! Así, podemos mencionar el experimento diseñado por científicos de los laboratorios de la IBM en 1990 en que se va agregando lentamente arena al plato de una balanza, de tal modo que las avalanchas que se producen salen por los lados, y los tamaños de avalancha se reflejan en las diferencias de pesos. Los autores diseñaron un dispositivo que liberara granos uno a uno. Aunque el experimento de la IBM indicaba una distribución de avalanchas tipo ley de potencias sin depender siquiera mucho del tipo de granos, la distribución dejaba de comportarse así para pilas de arena de diámetro demasiado grande: la SOC, por lo visto, sólo se cumplía dentro de ciertos límites de tamaño.

Otro de los experimentos trascendentales sobre avalanchas en pilas reales se llevó a cabo en 1996 en la Universidad de Oslo (Noruega), pero esta vez trabajaron sobre pilas de arroz entre dos placas de vidrio (“cuasibidimensionales”). En vez de utilizar una balanza para medir las avalanchas, los científicos de Oslo filmaban la superficie de la pila en la medida que se agregaba arroz, y transmitían el resultado a una computadora. Los investigadores usaron métodos de procesamiento óptico que sirvieron de base para el desarrollo de los experimentos en las condiciones de Cuba.

Después de probar con muchos materiales, las lomas “de arena” cubanas terminaron siendo lomas de balines de bicicleta. Los resultados esclarecieron características esenciales de la

criticalidad autoorganizada, y por su trascendencia fueron publicados en *Physical Review Letters*.



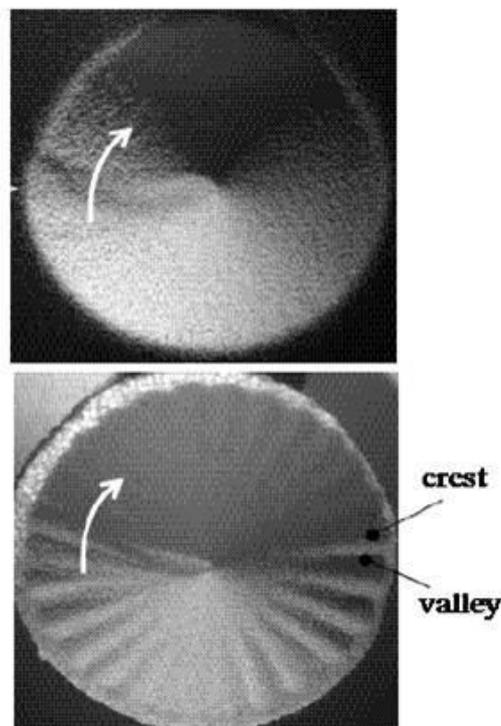
**Figura 2:** Digitalización de una pila de balines de bicicleta con una base de esferas de acero distribuidos aleatoriamente. Los nodos corresponden a los centros de los balines, y las zonas grises corresponden con las esferas que nunca cambiaron de posición durante un experimento donde se contabilizaron unas 50 000 avalanchas. La distribución de tamaños de avalanchas sugiere un comportamiento crítico auto-organizado (Modificado de (Phys. Rev Lett. 91, 014501, (2003))).

Los balines de acero que van siendo agregados sobre una base horizontal localizada entre dos vidrios paralelos, separados entre sí una distancia algo mayor que el diámetro de uno de los balines. El objetivo era estudiar cómo depende esta dinámica del tipo de base de la pila. En este experimento se lanza hacia la pila las esferas de acero una a una, de forma totalmente controlada por una computadora. Cada vez que se lanza una esfera, una balanza detecta el cambio de peso de la pila para hallar el tamaño de la avalancha resultante, y envía el dato a una computadora, y una cámara digital adquiere una imagen de la pila, y envía los datos a otra computadora. Una vez adquiridos todos esos datos, la primera computadora ordena lanzar otra esfera. Y así sucesivamente, hasta lanzar varias decenas de miles de esferas: un experimento puede durar una semana de medición continua. El aspecto clave del experimento, es que se cambia el tipo de base sobre el que se forman las pilas. Cada base consiste en una regleta de plástico con una fila de esferas pegadas, de tal modo que estén espaciadas de diversa forma. Este experimento arrojó como resultado que las distribuciones de tamaños de avalanchas obtenidas a través de la balanza muestran que las leyes de potencias aparecen en función del tipo de base, por lo que el fenómeno en este caso no es independiente de los detalles del sistema, como pregonaba la teoría BTW.

Hoy día se está trabajando en pilas de mayor tamaño, donde hemos obtenido las primeras distribuciones de avalanchas que siguen realmente una ley de potencias, visualizable sin la necesidad del uso de “scaling ansatzs”.

Curiosamente, en paralelo con los experimentos sobre la criticalidad de las pilas de arena, nuestros investigadores han realizado experiencias análogas sobre “pilas de vórtices” superconductores; un contexto mucho más complejo desde el punto de vista experimental (Rev. Mod Phys. 76, 471 (2004); Phys. Rev. B 70, 140505 (2004))

También, se ha estado investigado el comportamiento de un tipo de arena que produce “ríos”, ya no avalanchas, por lo que este estudio entra de lleno en el terreno de la física de los medios granulares, sin tratar de reproducir condición alguna para la llamada “criticalidad autoorganizada”.



**Figura 3:** Formación de ríos rotatorios en determinados tipos de arena. Se ilustran los regímenes: continuo (arriba) y pulsante (abajo).

En la figura se ilustra cómo, algunos tipos muy especiales de lomas de arena producen, al ser alimentadas desde arriba, ríos rotatorios que en algunos casos “barren” la superficie de la loma en forma continua y otras en forma discreta. Los trabajos en esta dirección están en estos momentos en pleno desarrollo.

## Otros temas

Los ejemplos mostrados son una parte de una variedad de trabajos que se han ido desarrollando en Cuba en el amplio y no muy bien definido campo de la física de sistemas complejos. Otros muy diversos resultados en la elaboración de modelos matemáticos para el tratamiento de tumores, el problema del “coloring”, modelos de redes complejas, comportamientos colectivos y otros, pueden también mencionarse como resultados. Un panorama más actualizado sobre las investigaciones en sistemas complejos en Cuba, en lo que compete a la cátedra “Henri Poincaré” puede hallarse en [www.complexperiments.net](http://www.complexperiments.net)

Desde hace varios años la Facultad de Física ha incorporado a su curriculum de asignaturas un curso de Sistemas Complejos, que incluye algunas prácticas de laboratorio. Por este curso han pasado ya varias decenas de profesionales; además se han realizado talleres y cursos multidisciplinarios con la participación de muy variados especialistas.

En conclusión, si bien esta rama emergente de la Física surgió en Cuba en las peores condiciones imaginables para desarrollar investigaciones, ha habido resultados de cierta importancia, y hoy en día continúa desarrollándose gracias a la labor de un grupo emergente de investigadores que desarrollan exitosamente sus trabajos en condiciones muy difíciles, pero con un empeño y dedicación encomiables.

## Referencias

- 1.- Sotolongo, O., Lopez, E., Barreras, F., Marin, J. Scaling in drop distributions. Application in combustion . Phys. Rev. E 49, 4027 (1994).
- 2.- Sotolongo, O., Moreno, Y., Lloveras, J., Antoranz, J.C. Criticality in droplet fragmentation Phys. Rev. Lett. 76, 1, 42-46 (1996).
- 3.- Sotolongo-Costa, O, Posadas, A. A fragment-asperity interaction model for earthquakes . Physical Review Letters 92, 048501 (2004).
- 4.-P. Bak, C. Tang K. Wiesenfeld “Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise” Phys. Rev. Lett. 59, 381 (1987).
- 5.- G. A. Held, D. H. Solina II, D. T. Keane, W. J. Haag, P. M. Horn, G. Grinstein . “Experimental study of critical mass fluctuations in an evolving sandpile” Phys. Rev. Lett. 65, 1120 (1990).
- 6.- E. Altshuler, O. Ramos, C. Martínez, L. E. Flores, and C. Noda “Avalanches in One-Dimensional Piles with different Types of bases” Phys. Rev. Lett. 86, 5490 (2001).
- 7.- E. Altshuler, T. H. Johansen “Experiments in vortex avalanches” Rev. Mod. Phys 76, 471 (2004).

- 8.- E. Altshuler, T. H. Johansen, Y. Paltiel, Peng Jin, K. E. Bassler, O. Ramos, Q. Y. Chen, G. F. Reiter, E. Zeldov, and C. W. Chu “Vortex avalanches with robust statistics observed in superconducting niobium” Phys. Rev. B 70, 140505 (2004).
- 9.- R. Mulet, A. Pagnani, M. Weigt, and R. Zecchina “Coloring Random Graphs” Phys. Rev. Lett. 89, 268701 (2002).

## **09 Proyecto 35-26-7 de Resonancia Magnética: Un caso cubano de Ingeniería Física y la Biofísica**

**Carlos Cabal Mirabal<sup>1</sup>**

El Proyecto 35-26-7 de Resonancia Magnética comenzó en diciembre de 1987 a solicitud del presidente de los Consejos de Estado y de Ministros Comandante en Jefe Dr. Fidel Castro Ruz, quien preocupado por la introducción de tecnologías de avanzadas en la salud cubana se había interesado, meses antes, en la posibilidad de construir en Cuba equipos de Resonancia Magnética de Imágenes (RMI) para el diagnóstico médico [1, 2]. Muchas de las firmas productoras de estos equipos se veían imposibilitadas de suministrar esa tecnología a Cuba por el Bloqueo impuesto por el gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica. Para los que después condujimos el desarrollo científico tecnológico del proyecto, en un inicio, nos parecía inviable por su complejidad, por ejecutarse en un país del tercer Mundo. Fue la convicción y la confianza de Fidel y nuestro compromiso con él y con la ciencia cubana un factor de éxito innegable.

Este proyecto tenía como antecedentes el grupo de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de la Facultad de Físico Matemática de la Universidad de Oriente surgido en el año 1975, después de un fructífero curso de postgrado impartido por el Profesor Dr. Profesor Pieter Mijailovich Borodin procedente de la Cátedra de Radiofísica de la Facultad de Física de la Universidad de Leningrado.

En aquel año 1975 se definen dos líneas de trabajo en RMN: La primera, el estudio de la madurez de la caña de azúcar con RMN en el campo magnético de la Tierra buscando un procedimiento generalizable a la industria azucarera cubana. La segunda línea, la investigación de complejos paramagnéticos de Níquel (II) y Cobalto (II) en soluciones, tema vinculado a mediano plazo con la industria del Níquel, en la que Cuba ocupa un lugar destacado. Así desde el origen, la RMN estuvo direccionada a la solución de problemas prácticos de la economía del país.

---

<sup>1</sup> Grupo de Imágenes Moleculares de Resonancia Magnética, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana, Cuba.

En este segundo tema es que se defiende la Tesis de doctorado Cabal "Mecanismos de Relajación Magnética en soluciones acuosas paramagnéticas de Ni (II) y Co (II)" en la especialidad de Radiofísica Cuántica en la Facultad de Física de la Universidad de Leningrado el 18 de septiembre de 1980 (el mismo día que viajó al cosmos el 1er cosmonauta cubano) bajo la tutoría del Dr Vladimir Ivánovich Chizhik [3]. Los trabajos desarrollados en el marco esta tesis merecieron el segundo y primer Lugar del Concurso de Jóvenes Científicos de toda la Universidad de Leningrado en los años 1979 y 1980 respectivamente.

Entre los años 1980 y 1987 se consolida el laboratorio de RMN de la Universidad de Oriente con instalaciones experimentales de RMN diseñadas y construidas en la Facultad [4], se intensifica la formación de los especialistas (con el apoyo de la URSS) y se identifican investigaciones de la micro estructura y de los procesos de relajación magnética de las soluciones paramagnéticas de iones de metales de transición y también de Lantánidos como el Cerio (III), Samario (III), Praseodimio (III), Terbio (III), Europio (III) [3, 5-7]. También se acometieron otros trabajos científicos para contribuir a problemas de la industria niquelífera y del cemento. [8,9] Este laboratorio a pesar de sus escasos recursos se destacó en el contexto de la Física en la Universidad de Oriente lo que se evidenció en sus publicaciones y en los Premios anuales Al Mérito Científico Técnico que esa universidad le otorgó en los cursos 86-87, 87-88 y 88-89.

Cuando surge el proyecto 35 26 7 RMN, concebido en varias etapas, se produce un cambio en el rumbo del trabajo (la RMN orientada hacia la biomedicina), y en las concepciones de la creación científica: su razón de ser y ritmo de las investigaciones, el papel de la ciencia y de cómo y hasta donde se debía llevar un resultado científico [1,2]. La esencia del proyecto iba más allá de la física, era un programa físico tecnológico y por ello en su grupo inicial de 12 profesionales y técnicos (la mayoría jóvenes y estudiantes) predominaban los físicos aunque también había un número significativo de ingenieros electrónicos y se contaba con la colaboración de dos ingenieros mecánicos de otras instituciones que cooperaban con proyecto (Centro Nacional de Investigaciones Científicas de La Habana y la fábrica de equipos médicos Retomed de Santiago de Cuba).

La primera etapa del proyecto tenía como propósito:

- Diseñar, construir y caracterizar los parámetros de un relaxómetro universal de Resonancia Magnética de 0,1Teslas para la medición de manera computarizada

de los tiempos de relajación Spin Retículo (T1) y Spin Spin (T2) con las diferentes secuencias de pulsos de radiofrecuencia existentes en aquel entonces.

- Identificar problemas biomédicos de alto impacto que pudieran abordarse con RM.
- Estudiar las vías para concebir un equipo de imágenes de Resonancia Magnética para estudios de cuerpo completo en humanos. Estas tres tareas de la primera etapa en esencia fueron cumplidas a los 7 meses en julio del 1988.

La segunda etapa consistió en el cálculo, el diseño, la construcción, la puesta en marcha y caracterización de todos y cada uno de los sistemas que constituyen un equipo de RM de imágenes:

- Sistema magnético que incluía el electroimán, su alimentación (de unos 20 KVA con una estabilidad de 1 ppm), el enfriamiento, las bobinas activas y dispositivos pasivos de corrección de la homogeneidad del campo magnético y equipos para caracterizar la intensidad, la estabilidad, homogeneidad del campo magnético de algunas partes por millón en un volumen de esfera de 40 cm de diámetro.
- Sistema de Gradientes de campos magnéticos con los amplificador de pulsos de corrientes del orden de 120 amperes y tiempos de crecimiento de decimas de milisegundos y duración varios milisegundos sobre las bobinas correspondientes con inductancias de centenares de micro henrios para garantizar la codificación espacial lineal en los tres ejes ortogonales en la región de interés.
- Sistema de generación y modulación de los pulsos de radiofrecuencia de potencias del orden de los Kilowatts y duraciones de los milisegundos así como las bobinas para producir la excitación para cada una de las partes del cuerpo humano a la frecuencia necesaria.
- Sistema de recepción y detección de la señal de radiofrecuencia con la bobina donde se inducen fem de apenas algunas decenas de micro voltios un rango relativamente amplio de frecuencias con un elevado nivel de ruido.
- Sistema de digitalización de las señales detectadas, doble transformada rápida de Fourier, la formación de los perfiles y las imágenes de RM. Todo ello en base a la tecnología de computo existente y disponible para los cubanos en aquellos momentos en base a computadoras personales (PC) 80 3 86. El desarrollo del software (alto y bajo nivel), los problemas de control y comunicación de las PCs

con el resto de los sistemas, el manejo de los recursos informáticos para atender el control, realizar los cálculos, formar la imagen fueron si dudas también tareas de mucha complejidad.

- Sistema de control y sincronismo de todos los eventos que garantizaban la programación de las secuencias de pulsos necesarias para la obtención de la información codificada, espacial y temporalmente, en el objeto bajo estudio y la estabilidad de fase de cada uno de los sistemas mencionados y de ellos entre sí.
- Sistema de presentación, procesamiento y evaluación de las imágenes de RM en base a un software totalmente desarrollado en el proyecto.

Solamente con una comprensión física e ingenieril profunda podían realizarse los cálculos electromagnéticos (problema directo e inverso del electromagnetismo), los cálculos mecánicos y termodinámicos, los cómputos electrónicos llevándolos a un diseño viable con la tecnología disponible en el país.

Para comprobar sus parámetros, para determinación de las funciones de transferencia de los distintos bloques y del sistema en su conjunto, para que se cumplieran las regulaciones y normativas internacionales, hubo también que calcular, diseñar, y construir equipos y crear procedimientos de mediciones. Se construyó y calibró un magnetómetro de RM, varios phantom (objetos patrones), dispositivos electrónicos para la medición de los pulsos de gradientes, de RF, etc. que permitieran por parte ir evaluando los parámetros de los bloques construidos y garantizar la calidad de toda la máquina de RM [10].

Así en agosto de 1991, tres años y un mes desde el comienzo de la 2da etapa, ya se obtenían las imágenes de varias partes del cuerpo humano en un equipo de Resonancia Magnética totalmente cubano.

Contamos en este proyecto con la valiosa y desinteresada cooperación de múltiples instituciones científicas y productivas cubanas y del Profesor Dr. Horacio Carlos Panepucchi y su laboratorio del Instituto de Física de la Universidad de Sao Pablo, Brasil.

Desde el inicio mismo, cuando se concibió el proyecto 35-26-7RMN, se pensó en que éste de tener éxito podría ser la génesis de un centro de investigaciones de física aplicada, física técnica y biofísica dentro de la propia Universidad de Oriente, ideas latentes desde el surgimiento mismo de la física en esta casa de altos estudios y defendida durante décadas por el Profesor fundador de la Universidad Roberto Soto del Rey [11].

Se identificaron cuatro y se trabajaron sobre factores generales que había que tener en consideración para que este centro pudiera materializarse. Entre los que se encontraban los siguientes:

- Factor 1. (Medular). Definición clara de la línea de trabajo científico acorde con la estrategia nacional, armónica con el contexto local y el desarrollo científico mundial.
- Factor 2. (Organizativo). Nexos entre los integrantes del centro y de ellos con el entorno; estilo y método de trabajo, disciplina, tenacidad, colectiva e individual; vínculos locales, nacionales e internacionales.
- Factor 3. (Humano). Convicciones. Calificación, audacia, fogueo, capacidad de trabajo, identificación con los factores 1 y 2.
- Factor 4. (Material). Información científica, locales, instalaciones, transporte, teléfono, financiamiento.

En octubre de 1991, unos meses después que la primera máquina de resonancia magnética de Imágenes estuviera funcionando a propuesta de un grupo de expertos y la dirección del proyecto se toman dos decisiones muy trascendentes:

- Trasladar, montar y poner en servicio el equipo construido para el Hospital General Juan Bruno Zayas de la Ciudad de Santiago de Cuba.
- Construir el Centro de Biofísica Médica de la Universidad de Oriente que fue construido en un año exacto e inaugurado el 10 de febrero de 1993 por el Presidente Fidel Castro Ruz.

El aquel día escribió en un libro suyo “La Historia me absolverá” que nos dedicó “Para el Centro de Biofísica Médica, de Santiago de Cuba, orgullo no solo de la Ciudad Héroe sino de toda la patria. Felicidades y a forjar nuevos sueños, hermosas realidades de mañana”.

No obstante, la carga elogiosa de estas palabras su fundamental contenido fue de compromiso para el colectivo ya que en aquel momento Fidel formuló de manera concreta una idea que constituye un reto para la ciencia y las tecnologías cubanas: “La ciencia y las producciones de la ciencia deben ocupar, algún día, el primer lugar de la economía nacional. Tenemos que desarrollar las producciones de la inteligencia. Ese es nuestro lugar en el mundo, no habrá otro. En eso podemos discutir con los japoneses, con los alemanes.”

El líder científico del Proyecto 35-26 -7 RMN el Dr. Carlos Cabal Mirabal es designado director fundador del Centro responsabilidad que ocupó hasta el año 2006.

Este proyecto ha sido catalogado por varios destacados científicos cubanos como uno de los proyectos de más complejidad. Sus impactos más importantes resumibles en tres grupos: Tecnológicos, Científicos y Sociales.

**En plano tecnológico.** La principal contribución ha sido demostrar la factibilidad de la construcción de diversos tipos de equipos de Resonancia Magnética, incluyendo los tres de imágenes de la serie Giroimag, con una calidad creciente y cumpliendo las exigencias normativas mundiales [10]. Se trata de una tecnología del primer mundo, clasificada dentro de las cinco más complejas del diagnóstico médico. El monto total en dinero empleado en este proyecto, desde la creación de las premisas tecnológicas (cálculo, diseño, construcción, caracterización, validación, registro en el Sistema Nacional de Salud y montaje de tres equipos de imágenes y uno de relaxometría en los hospitales) fue del mismo orden que el precio que tiene un solo equipo en el mercado mundial.

Alrededor de este proyecto cubano, y como parte de la asimilación tecnológica, se impulsaron múltiples tecnologías que nos pusieron en condiciones de acometer empresas de igual o mayor envergadura, y de darle continuidad al desarrollo que se gesta en el mundo de esta y otras especialidades conexas.

En este proceso creador de asimilación tecnológica, además de haberse identificado nuevas y autóctonas líneas de investigación y desarrollo, existieron algunas contribuciones originales, sobre todo en el uso de las microcomputadoras (el hardware y el software) para el gobierno de los equipos de RM y el procesamiento de la información que se obtiene en los equipos, en algunos bloques electrónicos singulares con nuevas tecnologías, y en los procedimientos y algoritmos de cálculos electromagnéticos de sistemas complejos, entre otros [10,12].

**En el plano científico.** Cabe referirse a la contribución que se ha hecho en el campo de las aplicaciones de la RM. En particular, el estudio con enfoque sistémico Biofísico (desde el nivel molecular al de organismo) de la Anemia de Eritrocitos Falciformes, también conocida como Anemia Drepanocítica o Sicklemia [13-21]. Esta enfermedad de origen genético, procedente del África, está relacionada con una alteración en la hemoglobina, que conlleva a la deformación de los glóbulos rojos y con ello a modificaciones a la reología de la sangre (circulación sanguínea) y de múltiples procesos fisiológicos, que conducen a un deterioro intenso y progresivo de los enfermos, y que provocan la muerte por lo general en edades muy

tempranas, muchas veces antes de los 40 años. En el mundo, por datos de la Organización Mundial de la Salud, se estima que el número de portadores de la enfermedad sobrepase la cifra de 250 millones, y afecta a todos los países hacia donde ha existido emigración africana.

En esta dirección los aportes cubanos son de alto impacto científico y social. Basado en los equipos cubanos de relaxometría de RM, se ha establecido una nueva metodología diagnóstica del estado de los pacientes sickléemicos, que además de facilitar el pronóstico de las crisis de éstos, permite evaluar la efectividad de los esquemas terapéuticos. Ella se basa en los estudios de la cinética de la polimerización de la hemoglobina S en condiciones de baja oxigenación. Nuevos modelos físico matemáticos para describir analíticamente estos procesos y predecir las condiciones bajo las cuales se puede enlentecer la polimerización han sido publicados como resultado de las investigaciones desarrolladas en el marco del proyecto 35-26-7 RMN. Por otra parte, se dispuso, en fase de ensayos, de un nuevo candidato a fármaco, no tóxico basado en la vainillina, que ha probado su eficacia como paliativo en el tratamiento de la enfermedad. Sin dudas, ambos resultados, redundarán en un futuro cercano en la calidad de vida de los mismos.

Resultados del proyecto han tenido varios reconocimientos importantes entre los que se encuentran 2 Premios de la Academia de Ciencias de Cuba en los años 1994 y 1995. En Septiembre de 1996 se le otorgó el *Fist Prize Giorgio Alberi in Memoriam in the V International Conference on Applications of Physics in Medicine and Biology, Trieste, Italy,*

**En el plano social.** Las decenas de miles de pacientes diagnosticados con los tres equipos cubanos de Resonancia Magnética de Imágenes, en los más de diez años de funcionamiento en varios hospitales cubanos, ha sido el más evidente de los aportes sociales. Se trata de vidas salvadas y de tranquilidad generada a seres humanos [22].

El impulso a la tecnología cubana de RM sentó bases para la creación, en 1993, del Centro de Biofísica Médica. Éste ha ramificado sus investigaciones en más de una decena de direcciones, que incluyen, desde la asimilación tecnológica, hasta las investigaciones básicas en los campos del Electromagnetismo, el Procesamiento de Señales, la Biofísica Molecular y la Neurofísica. El apogeo de la RM y la creación del Centro de Biofísica Médica ocurren en los años más difíciles de la economía cubana, no obstante, la voluntad nacional y la de los científicos, hizo posible mostrar logros modestos, semillas de nuevos desarrollos científicos y tecnológicos.

Es destacable la formación de recursos humanos. A inicios de los años ochenta sólo existían dos laboratorios de RM con apenas cinco investigadores. El impulso a la RM constituyó sin lugar a dudas una explosión en la formación de especialistas de ramas diversas como la física, la electrónica, la computación, la química, la bioquímica, la mecánica, el diseño industrial, la medicina y otras muchas. Se cuentan por decenas los estudiantes de pre y postgrado que han estado vinculados a nuestros laboratorios. Nuestros investigadores publican y acuden a eventos de prestigio internacional y mantienen una ascendente colaboración con instituciones prestigiosas de Canadá, Inglaterra, España, Alemania y Francia.

En el centro y en el país se ensaya, en la práctica diaria, formas de interrelación entre las investigaciones básicas y las tecnológicas; y los vínculos efectivos de la actividad universitaria, con la producción, y los usuarios de los resultados científicos en la sociedad. Debe destacarse la importancia que tiene para los países subdesarrollados, la búsqueda de vías y alternativas concretas para que se establezcan nexos reales y eficaces entre las diversas ramas de la Física y el quehacer científico y tecnológico de nuestros tiempos. No se puede ir por los mismos caminos de los que van delante. A la vez que se asimile inteligentemente todo el acervo científico y tecnológico mundial, a través de la transferencia y asimilación de tecnología; se debe potenciar también las ramas de las ciencias básicas [2, 23,24]; que sean coherentes con la estrategia, de manera de ir estableciendo bases para una Física oriunda, que a la vez que aporte al patrimonio científico universal, responda a los intereses del progreso de nuestros países.

## Referencias

- [1] C. Cabal et al en el Libro , “Y sin embargo Ciencia”, pp. 56 – 66. (Editora Abril, Habana Cuba, 1999) ISBN 959-210-172-8.
- [2] F. Castro, C. Cabal et al: “Cuba Amanecer del Tercer Milenio. Ciencia, Sociedad y Tecnología: Biofísica Médica”, pp.31- 48 (Editorial Debate, España , 2002). ISBN 959-05-0283-0
- [3] C. Cabal, Mecanismos de relajación magnética en soluciones acuosas de Ni(II) and Co(II), tesis Doctorado, Facultad de Física, Universidad de Leningrado, Unión Soviética, Septiembre (1980).
- [4] V.I. Chizhik, C. Cabal, A. Guzmán: "Relaxómetro de Resonancia Magnética" Rev. Cub. de Fís., III, No.3, pp. 33-42 (1983).
- [5] C. Cabal, V.I. Chizhik, "Study of molecular motion and microstructure of hydrate shells of Nickel(II) and Cobalt(II) ions by the NMR relaxation method," Theo. Exp. Chem. 17, pp. 322-326 (1982)

- [6] C. Cabal, V.I. Chizhik, "Frequency Dependence of  $^1\text{H}$  and  $^7\text{Li}$  Relaxation Times in Concentrated Solution of Ni (II)," Vest. Leningrad. Univer. 1, pp. 20-24, (1983)
- [7] A. Guzmán, C. Cabal, "Procesos de Relajación Protónica en Soluciones Acuosas de Lantánidos," Rev. Cub. Fís., VII, pp. 47-52, (1987)
- [8] F. Guilart, N. Fleitas, C. Cabal "Estudio del Cemento Portland 350 de la Fábrica José Merceron con el Método de Relajación Magnética," Rev. Cub. Fís. VII, pp. 53-58. (1987)
- [9] C. Cabal, L. Fife, A. Guzmán, "Posibilidades de la Relajación Magnética Nuclear de Protones para el Estudio de la Oxidación del Cobalto (II) a Cobalto (III) en Medio Amoniacal," Rev. Cub. Fís. IV, pp. 9-14 (1984)
- [10] C. Cabal, E. Gonzalez, H. Sánchez, A. Bordelois, A. Frómeta, J. Parra, M. Sánchez, "Spatial Frequency Response of Cuban MRI Machine GIROIMAG," Phys. Med. XIII, pp. 211 – 213 (1997)
- [11] L. Mendez, Perez, E.J Roca Oria, C. Cabal Mirabal, "Roberto Soto del Rey, fundador de la Universidad de Oriente y de su Departamento de Física", Rev. Cub. Fís., 29, N1, pp. 33-36 (2012)
- [12] H. Sánchez, C. Garrido, C. Cabal, H. Saint Jalmes, "Designing an Efficient Resistive Magnet for Magnetic Resonance Imaging," IEEE Trans. Mag. 40, pp. 3378-3381 (2004).
- [13] J. Losada, F. Guilart, C. Cabal, et al: "NMR Relaxation Study of Sickle Cell Disease" Proceedings of the XXIV Congress AMPERE Magnetic Resonance and Related Phenomeng, Poznan, 1988, pp. 1027-1030,
- [14] C. Cabal, a. Fernández, M. Lores, E. Alvarez, J. Losada, C. Soler, E. Pérez. "Magnetic Relaxation in the Kinetics of the Polymerization of Hemoglobin S. Clinical Diagnosis and Treatment with Vanillin", Proceedings International Society for Magn. Resonan. in Medicine, 3, pp.1705, Sydney, Australia (1998).
- [15] E. Pérez, I. González, M. Noda, E. González, A. Govin, C. Cabal, J. Losada, "Evaluación de Afectaciones Morfológicas en el Cerebro de pacientes con Anemia de células falciformes con el uso de Imágenes de Resonancia Magnética," Rev. Neuro. 38, pp. 17-19 (2004)
- [16] M. Lores, C. Cabal, "Proton Magnetic Relaxation Process during the Polymerization of Hemoglobin S," Appl. Mag. Res. 28, pp. 1–6 (2005)
- [17] M. Lores, C. Cabal, O. Nascimento, A. Gennaro, "EPR Study of Hemoglobin Rotational Correlation Time and Microviscosity during the Polymerization of Hemoglobin S," Appl. Mag. Res. 30, pp. 121- 128 (2006)
- [18] A. Fernández, C. Cabal, J. Losada, E. Alvarez, J. Otero "In Vivo Action of Vainillin on Delay Time Determined by Magnetic Relaxation," Hemoglobin, 29, 181-187 (2005)
- [19] A. Fernandez, C. Cabal, M. Lores, J. Losada, E. Perez "Sickle Cell Disease Painful Crisis and Steady State Differentiation by Proton Magnetic Resonance," Hemoglobin, 33, pp. 206 – 213 (2009)
- [20] C. Cabal, I. Ruiz "A Mechanism of crystallization processes of Haemoglobin S," Rev. Integra., Univ. Santander, 26, pp. 1-9 (2008)

- [21] C. Cabal, I. Ruiz “A Model of the Molecular Aggregate process of Haemoglobin S. Absence of Crystallization,” Rev. Integr. Univ. Santander, 26, pp. 13-22 (2008).
- [22] M. Noda, C. Cabal, E. González, J. Paz: “Resonancia Magnética de Imágenes Cubana: tres años de servicio en el Sistema Nacional de Salud”; Revista Cubana de Salud Pública, Vol. 25, N2, pp. 123- 128. (1999).
- [23] C. Cabal, E. González, Y. Torne, A. Rojas “Micro magnetic and Molecular magnetic resonance imaging in modern biotechnology and pharmacy” Biotecnología Aplicada, 26, No 4, pp. 304-314 (2009).
- [24] C. Cabal, “A 20 Años de la Primera máquina de Resonancia Magnética de Imágenes cubana: un proyecto de Ingeniería Física y Biofísica”. Rev. Cub. Fis. 28, N1, pp. 68-72 (2011).

# 10 Nanotecnologías en Cuba

**Carlos Rodríguez<sup>1</sup>**

## **Introducción**

En Cuba, como en otros países, las actividades en el campo de las nanotecnologías emergieron del desarrollo convergente de las investigaciones en física y química de materiales, microelectrónica, química supramolecular, microbiología y biología molecular.

Durante los años noventa cobraron fuerza los trabajos teóricos y experimentales sobre nanoestructuras semiconductoras. Por iniciativa de los físicos cubanos se organizó la Red CYTED “Estudio, fabricación y caracterización de nanoestructuras semiconductoras para la micro y la optoelectrónica” que funcionó entre 1998 y 2003 con la participación de ocho países iberoamericanos. La red organizó varios cursos y reuniones científicas, editó un libro y apoyó la colaboración científica entre las instituciones participantes.

A lo largo de estas dos décadas, la investigación y la formación de doctores se extendieron a la nanobiología, el nanomagnetismo, los nanocoloides y otros sistemas dispersos, los polímeros nanoestructurados, la nanoencapsulación de fármacos y biomoléculas, los materiales nanoporosos, las nanoestructuras de carbono, las celdas fotovoltaicas nanoestructuradas, la estructura de nanocristales, la síntesis y funcionalización de nanopartículas metálicas, semiconductoras y magnéticas para aplicaciones médicas, la nanotoxicología, los nanosensores, los nems, la simulación y modelación computacional en la nanoescala, la fabricación de sistemas para la obtención de nanocapas y de instrumentos de resolución nanométrica, entre otros temas.

Las capacidades experimentales de las instituciones cubanas en este campo son muy modestas, por lo que las investigaciones mencionadas se han apoyado fuertemente en la colaboración científica internacional. Esto ha permitido publicar cientos de trabajos en revistas de alto impacto y formar más de treinta doctores en diversas especialidades. En el año 2009, la Revista Cubana de Física dedicó un número con un editorial y 15 artículos a reseñar

---

<sup>1</sup> Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

parte de las investigaciones sobre nanociencias y nanotecnologías que se desarrollan en Cuba (<http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2009/vol.26-No.1/index.htm>).

Un análisis de la producción científica cubana sobre Nanociencias y Nanotecnologías se recoge en la referencia [1]. Se aprecia un fuerte predominio de las publicaciones en el campo de la Física y el alto peso de la cooperación internacional.

También han visto la luz algunos trabajos sobre problemas económicos y sociales asociados al desarrollo de las nanotecnologías en el contexto cubano [2-5]. Especialistas cubanos participan en la “Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad” y en la Red CYTED de Divulgación y Formación en Nanotecnologías.

Aunque no existe propiamente un programa nacional de investigaciones en nanotecnologías (Ver nota al final del artículo), se han venido financiando proyectos de investigación afines en el marco de otros programas nacionales. Para apoyar los trabajos en ésta y otras áreas relacionadas, el Ministerio de Educación Superior ha financiado la creación del laboratorio analítico LUCES por un monto cercano al millón de USD. En el año 2008 se anunció por el Consejo de Estado la creación del Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEAC) institución multidisciplinaria enfocada principalmente hacia la nanobiotecnología y la nanomedicina. La primera fase de esta inversión está prácticamente concluida. En el marco de este proyecto se realiza una intensa labor de entrenamiento y formación postgraduada de jóvenes científicos cubanos en universidades europeas.

Se desarrollan regularmente eventos científicos y cursos internacionales relacionados con las nanociencias y las nanotecnologías. Estos comenzaron en 2001 con un evento internacional sobre Nanoelectrónica organizado por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría” (ISPJAE) y continuaron con las escuelas de verano que desde entonces organiza cada año el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (UH). Se destaca además el Taller Internacional de Nanomagnetismo (2004), el XVII Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido (2004), la conferencia “La Ciencia de Materiales en la era Nano” (2009) y cuatro seminarios internacionales de Nanociencias y Nanotecnologías (2006, 2008, 2010, 2012). Se han organizado encuentros binacionales con representantes de México (2003, 2009), el Reino Unido (2004), Brasil (2007, 2010), Sudáfrica (2010) y una reunión de la Red de Macrouiversidades de América Latina (2006). Entre los visitantes distinguidos

recibidos en estos eventos durante la década se destacan los premios Nobel Zhores Ivanovich Alfërov (2007 y 2010) y Robert Curl (2009) y el inventor del AFM Christopher Geber (2009).

## **Divulgación**

A partir de 2001 se incrementó en el país la divulgación y popularización de las nanociencias y las nanotecnologías para diversos públicos.

Por una parte, se destaca la labor dirigida a informar al gobierno y otros decisores sobre el contenido y posibles consecuencias del desarrollo de las nanotecnologías. Esta comenzó en 2002, cuando el Observatorio de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) organizó un equipo de especialistas que preparó el documento “Elementos iniciales para el análisis de la nanotecnología en Cuba” dirigido al gobierno y a los directores de varias instituciones científicas. Un segundo proyecto de prospectiva sobre “Nanomateriales” se ejecutó entre 2005 y 2006 en el marco del Programa Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica “Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada”.

Entre los años 2005 y 2007 un grupo de expertos convocados por la oficina del asesor científico del Consejo de Estado elaboró un estudio y una propuesta de la cual derivó la decisión de crear el CEAC mencionado anteriormente. También la Academia de Ciencias de Cuba convocó a un grupo de expertos que propusieron modificaciones al código de ética de los trabajadores de la ciencia en Cuba de modo que incluyese algunos nuevos problemas planteados por el desarrollo de las nanotecnologías.

Por otra parte, se ha trabajado al interior de la comunidad científica para identificar intereses comunes y promover la colaboración interdisciplinaria en este campo.

En el año 2001, por iniciativa del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) y el IMRE, se realizó el taller nacional “Las nanotecnologías en la Biotecnología y la Industria Médico – Farmacéutica” con la participación de varios centros de ese sector.

En el año 2002, se creó la Red de Nanotecnologías del Ministerio de Educación Superior, integrada por 12 instituciones, con el objetivo de “impulsar la cooperación científica nacional e internacional en Nanociencias y Nanotecnologías”. La red ha organizado varios encuentros nacionales y ha coordinado la participación de especialistas cubanos en reuniones Cuba – México (2003, 2009), Cuba – Reino Unido (2004), Cuba – Brasil (2007) y de la Red de Macrouiversidades de América Latina (2006). En el año 2009 la Universidad de la Habana

creó un colegio de nanotecnologías, que agrupa a especialistas de las ciencias naturales, económicas y sociales.

Para públicos más amplios, se han desarrollado numerosas iniciativas, que incluyen conferencias en escuelas y otras instituciones, artículos de prensa, teleclases y otras. Tanto la prensa plana como la radio y la TV le han brindado cobertura a los eventos científicos relacionados con las nanotecnologías que han tenido lugar en el país. Muchos periodistas cubanos manifiestan interés por ampliar la divulgación de las nanociencias y las nanotecnologías. Algunos órganos de prensa, como la revista Juventud Técnica muestran especial vocación por el tema. En periódicos y revistas ha sido publicada una decena de artículos ilustrados sobre las nanotecnologías, que enfatizan las aplicaciones prácticas y los posibles beneficios de los “nanoproductos”. Sin embargo, la TV cubana no ha podido disponer de documentales o materiales fílmicos de suficiente calidad para realizar una divulgación más atractiva, que trasmita al público, especialmente a los jóvenes, la fantasía de la manipulación de los átomos, las posibilidades tecnológicas que ofrece y la maravilla del comportamiento de la materia en la nanoescala.

## **Formación**

La mayor parte de las actividades de formación desarrolladas se concentran en el postgrado y en los años terminales de algunas carreras de ciencias e ingeniería. Aunque no existe en las universidades cubanas un programa de postgrado dedicado específicamente a las nanotecnologías, se han defendido en el país más de treinta tesis de doctorado, así como un número indeterminado de tesis de maestría, licenciatura o ingeniería en temas de física, química, biología, ciencia de materiales y electrónica directamente relacionados con las nanotecnologías. Como parte del proyecto de creación del CEAC se lleva a cabo un programa de entrenamiento y formación en laboratorios europeos de un grupo de jóvenes graduados de carreras de ciencias e ingeniería.

Aunque los programas de Física, Química y Biología que se imparten en la escuela secundaria cubana incluyen los contenidos básicos necesarios para ilustrar algunos fenómenos característicos de la nanoescala y sus aplicaciones, no hay mención explícita de estos tópicos en esos cursos. Con mayor razón, no se incluyen contenidos relacionados con las nanociencias y nanotecnologías en la escuela primaria. Probablemente estén faltando materiales didácticos que contengan ejemplos ilustrativos, problemas sencillos, experimentos

filmados o simulaciones, así como la capacitación correspondiente a los maestros y profesores para apoyar su trabajo.

Lo anterior es extensible a los cursos básicos de las universidades, aunque hay excepciones. Desde hace varios años, especialistas del ISPJAE vienen introduciendo de forma sistemática conocimientos actualizados de “Nanoelectrónica” en los programas de la disciplina Electrónica que se imparte en las carreras de ingeniería en las universidades cubanas. El programa televisivo “Universidad para Todos” ha retransmitido en varias ocasiones dos clases sobre Nanociencias y Nanotecnologías como parte de un curso de Nuevas Tecnologías. También se impartió un teleclase sobre “El desarrollo de las Nanotecnologías en Cuba”. Sin embargo, estos cursos podrían ampliarse y modernizarse apreciablemente, especialmente si se contase con materiales audiovisuales de alta calidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha propuesto convocar a un concurso de elaboración de materiales didácticos y de divulgación para su uso en los niveles primario y secundario, así como en los cursos básicos de nivel universitario. La propuesta se encuentra en fase de implementación.

En el sitio web del IMRE se puso en funcionamiento un repositorio de nanotecnologías (<http://nanorepo.imre.oc.uh.cu/>), con artículos y libros de interés general en este campo. Actualmente se prepara un libro para estudiantes universitarios cubanos de una amplia gama de especialidades, que cubrirá contenidos relacionados con las bases científicas, las aplicaciones tecnológicas y las implicaciones sociales de las nanotecnologías.

## **Conclusiones**

En las condiciones de un país pequeño, subdesarrollado y bloqueado como Cuba, se realizan modestos esfuerzos por desarrollar las capacidades para aprovechar las oportunidades que plantean las nanotecnologías, teniendo en cuenta especialmente las fortalezas existentes en la formación de recursos humanos de alto nivel en ciencias básicas y el desarrollo alcanzado por la biotecnología y la industria médico – farmacéutica, importante sector de alta tecnología en la economía cubana.

En este esfuerzo, la formación y divulgación, dirigida a todos los sectores de la sociedad, pero muy especialmente a los jóvenes, juega un papel central, porque la principal fortaleza siempre será la preparación y motivación del factor humano.

Tanto en el sistema de educación, como en los medios de comunicación existe un gran potencial para incrementar la formación y divulgación en nanociencias y nanotecnologías, pero se necesita disponer de una mayor cantidad de materiales de calidad que se puedan ponerse en manos de maestros, profesores y comunicadores.

La formación y divulgación en nanotecnologías no debe estar dirigida exclusivamente a deslumbrarnos con los nuevos “nanoproductos” y exaltar su utilidad práctica, sino también a estimular la fantasía y la creatividad de los jóvenes presentándoles las maravillas del nanomundo y las nuevas posibilidades de fabricación y modificación de la materia que les ofrecen las nanotecnologías. Al mismo tiempo, deben considerarse los aspectos económicos, sociales y ambientales relacionados con el desarrollo de las nanotecnologías, incluyendo los riesgos o peligros que plantea.

Al igual que la investigación, las actividades de formación y divulgación requieren, junto a los esfuerzos nacionales, de una amplia y creciente participación en la colaboración internacional que permita potenciar los limitados recursos disponibles y acceder a medios que con los que el país no cuenta, al tiempo que se pongan a disposición de otros los modestos logros que se alcancen.

No hay dudas de que los principales animadores del despegue de las nanociencias y las nanotecnologías en Cuba han sido los físicos, tanto en la investigación como en la popularización de este nuevo campo y en la promoción de iniciativas nacionales e internacionales. Sin embargo, las modestas inversiones cubanas en este campo están más orientadas al desarrollo de la nanobiotecnología y la nanomedicina, dado que el país tiene en estas áreas mayores opciones de convertir sus avances científicos en valor económico. Aunque esta política puede parecerle injusta a algunos físicos, la situación real es que el Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos anunció en 2012 el inicio de los ensayos clínicos del primer “nanomedicamento” cubano. Se trata de una formulación en nanopartículas de un inmunodepresor destinado a pacientes con trasplante de órganos. Presumiblemente, el nuevo tratamiento permitirá reducir las dosis y minimizar los efectos adversos del medicamento,

Este es un claro ejemplo del papel vital, aunque a veces indirecto, de la investigación básica en Física, particularmente en los momentos de emergencia de nuevos paradigmas científicos y tecnológicos, cuando los especialistas en las aplicaciones de la tecnología emergente aún no existen. Algo similar ocurrió en los setentas con el desarrollo de las ciencias de la

computación y de nuevo en los ochentas con las biotecnologías. Es posible que los físicos no jueguen el papel central en el rumbo final de las nanotecnologías en Cuba, pero nuevas tecnologías seguramente emergerán y allí, sin falta, estarán los físicos.

### **Nota añadida en 2018**

El Programa Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías fue finalmente convocado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente a comienzos de 2018, después de una amplia consulta con especialistas e instituciones que trabajan en este campo.

### **Anexo**



**Figura 1:** Microscopio de efecto túnel fabricado en el IMRE con la colaboración del Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de Ensenada, México. Imagen de resolución atómica de una superficie de grafito tomada con el mismo y ampliamente divulgada en Cuba.



**Figura 2:** El doctor Robert F. Curl, Premio Nobel de Química en 1996, durante su visita al Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas (IPVCE) “Vladimir I. Lenin”, ubicado en la periferia de La Habana, Cuba, el 26 de noviembre de 2009.

# Tren de miniaturas

Los científicos cubanos han desarrollado un modelo de tren de miniaturas que puede ser utilizado en el estudio de la física de los sólidos y en la enseñanza de la física de los sólidos en los institutos de enseñanza superior. El modelo está basado en un principio de funcionamiento que permite la construcción de un modelo de un tren de miniaturas que puede ser utilizado en el estudio de la física de los sólidos y en la enseñanza de la física de los sólidos en los institutos de enseñanza superior. El modelo está basado en un principio de funcionamiento que permite la construcción de un modelo de un tren de miniaturas que puede ser utilizado en el estudio de la física de los sólidos y en la enseñanza de la física de los sólidos en los institutos de enseñanza superior.

# Lo vano desea Cuba

Este momento es tan importante para el mundo. La vida de la gente y la de las naciones dependen hoy más que nunca de la ciencia y la tecnología. Cuba desea ser parte de este mundo y de esta ciencia.

El perfil "nanotecnológico" del futuro "nanotecnológico" de Cuba es el resultado de un proceso de desarrollo científico y tecnológico que se está llevando a cabo en el país.

La revolución cubana ha sido un proceso de transformación social y económica que ha permitido el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país. Este momento es tan importante para el mundo. La vida de la gente y la de las naciones dependen hoy más que nunca de la ciencia y la tecnología. Cuba desea ser parte de este mundo y de esta ciencia.

# La Edad del Nano

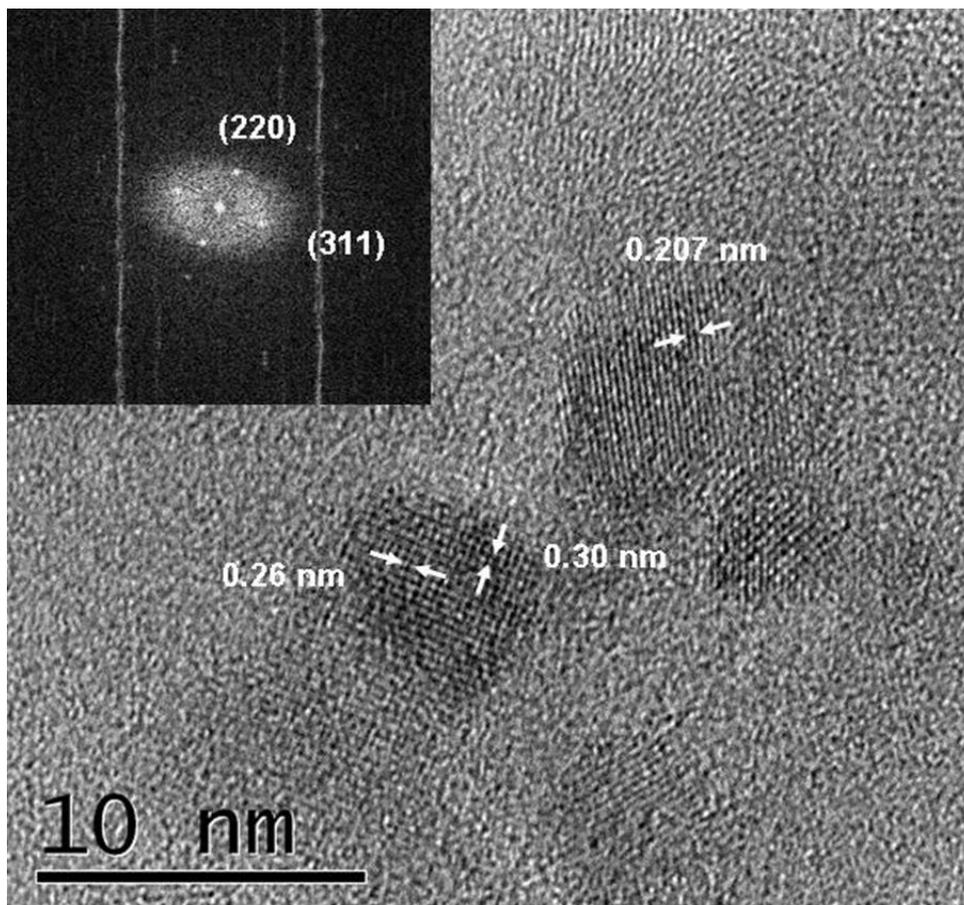
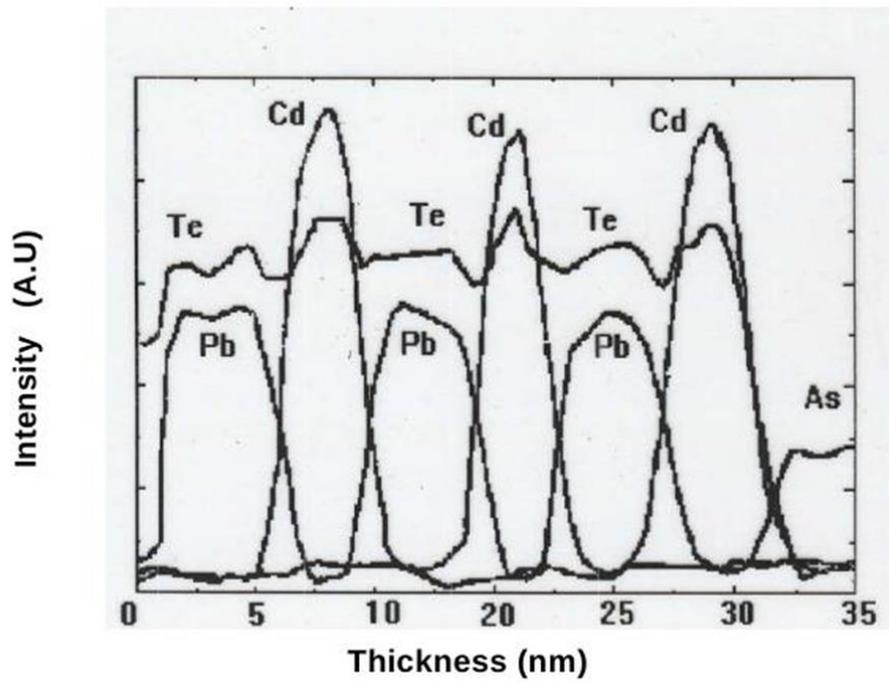
La producción de nuevos materiales es un imperativo en las sociedades contemporáneas. Cuba ha diseñado un programa para estimular este sector de punta de la tecnología.

El programa "nanotecnológico" de Cuba es el resultado de un proceso de desarrollo científico y tecnológico que se está llevando a cabo en el país. Este momento es tan importante para el mundo. La vida de la gente y la de las naciones dependen hoy más que nunca de la ciencia y la tecnología. Cuba desea ser parte de este mundo y de esta ciencia.

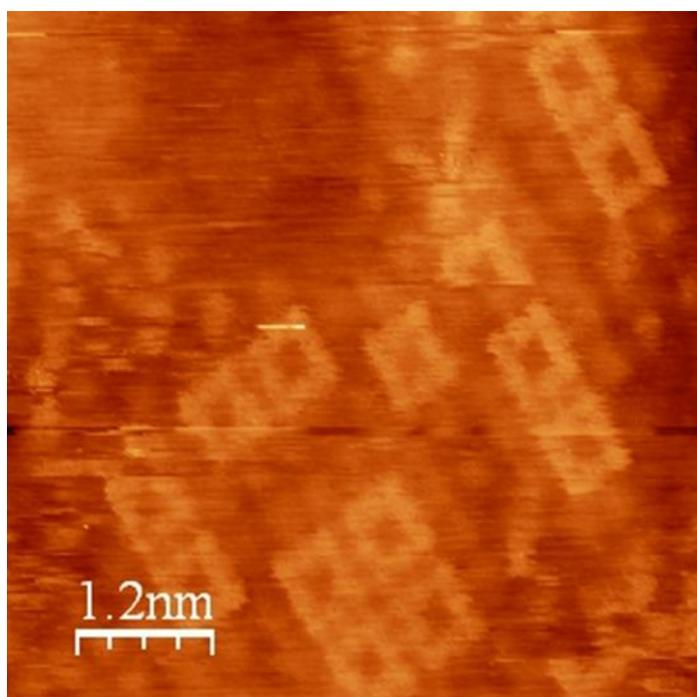
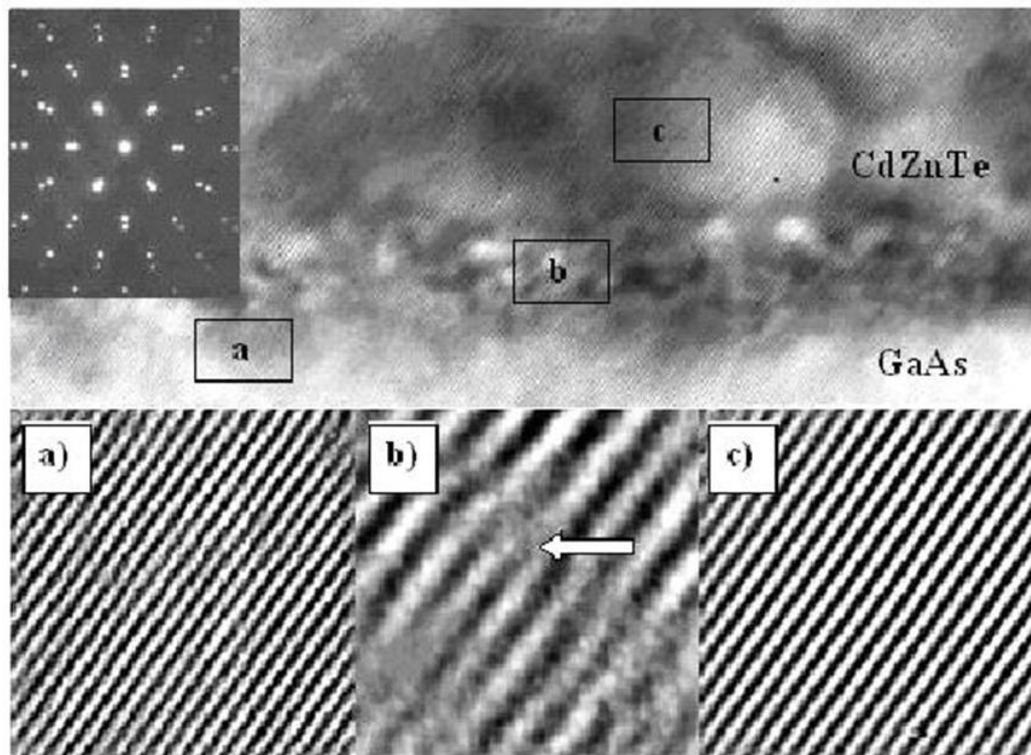
# ¿Qué son los materiales avanzados?

Los materiales avanzados son aquellos que tienen propiedades físicas, químicas y mecánicas superiores a los materiales convencionales. Estos materiales son utilizados en una gran variedad de aplicaciones, desde la medicina hasta la aeronáutica.

Figura 3: Algunos artículos sobre nanotecnologías publicados en diarios cubanos.



**Figura 4:** Primeras capas nanométricas en sistemas sandwich a partir de un instrumento home made de deposición láser construido en Cuba y el primero en Iberoamérica. La referencia es: "Plasma Dynamics in Laser Growth of CdTe", Ponce L., Diamant R., Haro E., Jiménez E., Physics E, V2, N3, 1997.



**Figura 5:** Fotografía de microscopía electrónica de transmisión de la sección transversal de una heteroestructura de CdZnTe/GaAs. En la parte superior izquierda se muestra el patrón de difracción de electrones correspondiente. En la parte inferior se muestran magnificaciones de diferentes regiones relevantes. Una dislocación está indicada por una flecha.

## Referencias

- [1] Aguiar J. D., R. Arencibia, J. Araujo and D. Alba. 2012. Producción Científica Cubana sobre Nanociencias y Nanotecnología. Ciencias de la Información 43(1): 5–14.
- [2] Rodríguez Castellanos C. (2009). Nanoamenazas y nanoportunidades. Universidad 2010. ISBN 978-959-16-1137-6, 2009. <http://revistas.mes.edu.cu/elibro>
- [3] Estévez Rams E. y Aragón Fernández B.(2010a) Deshojando margaritas: ¿Nanociencia o nanotecnología? Revista Universidad de la Habana No. 2718-33, 2010
- [4] Estévez Rams E. y Aragón Fernández B. (2010b) La fábula de los tres hermanos: Las nanociencias y las nanotecnologías en el contexto cubano. Revista Temas. No. 61 <http://www.temas.cult.cu/>
- [5] Castro Díaz-Balart F (2011). La nanotecnología y el desarrollo. Oportunidades e incertidumbres. Anales de la Academia de Ciencias. Vol 1. No.1 <http://www.revistaccuba.cu/>



# 11 La formación en Física en la Universidad de La Habana

Oswaldo de Melo Pereir, María Sánchez Colina<sup>1</sup>

## Introducción

La carrera de Física en Cuba surgió a raíz de la Reforma Universitaria de 1962. Sus estudios se comenzaron en la Escuela de Física adscrita a la Facultad de Ciencias que comprendía también las escuelas de Matemática, Química, Ciencias Biológicas, Geografía y Psicología [1]. El grado de licenciado había sustituido al de Bachiller desde 1880 pero las especialidades relacionadas con la Física habían sido desde entonces y hasta el momento de la reforma, las Ciencias Físico-Matemáticas y las Ciencias Físico-Químicas [2]. La escuela se formó con dos departamentos: el de Física General y Experimental y el de Física Teórica y Estructura de la Materia.

De las múltiples aristas que presenta el examen histórico de la carrera de Física; en este trabajo sólo se analizarán algunos datos de los estudios de pregrado y postgrado durante los 46 años que distan de su surgimiento. Otros aspectos tan importantes como el desarrollo de las investigaciones científicas y la influencia de la colaboración internacional serán seguramente tratados en otros trabajos de esta compilación.

## Estudios de pregrado

El plan de estudios de la Reforma de 1962 contemplaba en lo que a Física se refiere 4 semestres de Física Superior, 2 semestres de Mecánica Racional, 2 semestres de Física atómica y nuclear, 5 semestres de prácticas de Física, 2 semestres de prácticas de Física Atómica y Nuclear, 2 semestres de Electrónica (uno llamado Circuitos Eléctricos y otro Radioelectrónica) y 6 semestres de Física Teórica. Este plan también contemplaba 5 semestres de Filosofía, 3 de Lengua Extranjera y 2 de Química General.

Al plan de estudios se le han realizado posteriormente modificaciones mayores en seis ocasiones, de las cuales la última (conocida como Plan D) comenzó a operar en el curso 2007-2008. Este plan posee una estructura bastante similar en cuanto a las físicas y las matemáticas que aquel de 1962. Lógicamente la electrónica y la computación tienen una presencia superior

---

<sup>1</sup> Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

como es de esperarse. Pero probablemente las características que distinguen más al plan actual son: i) incremento sustancial del número de horas dedicadas al trabajo científico; ii) mayor flexibilidad que se refleja en un aumento del número de las asignaturas optativas; iii) mayor diversificación de las temáticas de los cursos de años superiores y consiguientemente un perfil más amplio. La carrera de física en la Universidad de La Habana mantiene aún el formato de cinco años.

En los 46 cursos transcurridos desde entonces han matriculado un total de 3 508 estudiantes de los que se han graduado 906 como licenciados en Física. Descontando de la matrícula total la de los últimos cuatro años (189 matriculados) y descontando también los graduados de los primeros 4 años (10 graduados) resulta un índice de cerca de 27 % de egresados respecto de la matrícula. Esta cifra global, sin embargo, representa un promedio de un valor que ha tenido grandes altas y bajas; es entonces conveniente realizar una exploración más detallada del comportamiento de las matrículas y de los egresados durante estos años.

En la Figura 1 se muestra la matrícula de nuevo ingreso para cada uno de los 46 cursos académicos transcurridos desde 1962. El incremento brusco que se observa en el curso 1977-1978 coincide con el interés por el desarrollo de la física nuclear y con la coincidencia de dos años terminales en el mismo curso en la enseñanza media. A partir de este curso, se observa un decrecimiento sistemático de las matrículas hasta una estabilización (en alrededor de 30 estudiantes) a partir del curso 1994-1995.

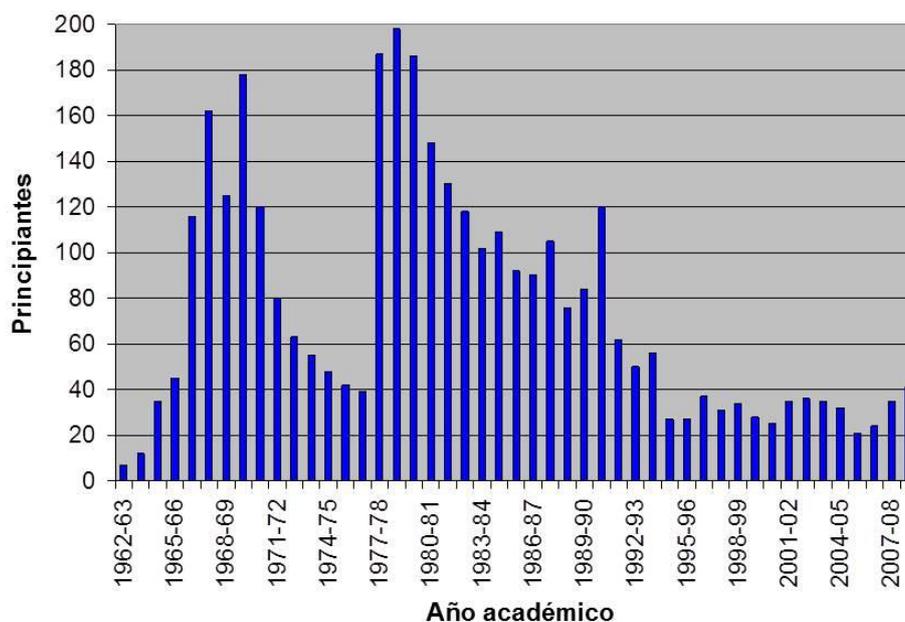


Figura 1

En la Figura 2 se observa el comportamiento de los egresados. La ausencia de graduados en el curso 1973–1974 es debida al hecho de que durante tres años la carrera de Física tuvo una duración de cuatro años y en este curso volvió a implantarse el régimen de cinco. De la comparación de estas figuras se puede observar que la cantidad de graduados no guarda la relación esperada con la matrícula.

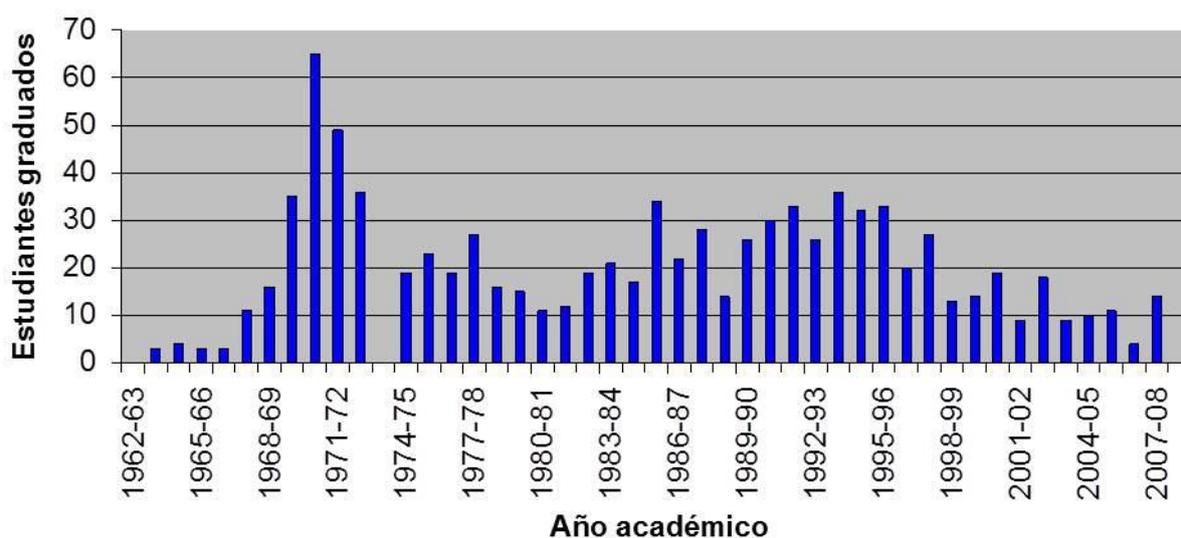


Figura 2

Para evidenciar este hecho, en la Figura 3 se presenta una comparación entre la matrícula y el número de graduados cinco años más tarde (o cuatro durante los años en que duró la carrera de cuatro años). Aquí hay que tomar en cuenta que en general los graduados al cabo de cinco años no son todos provenientes de la matrícula de cinco años antes. Esto es debido a que los estudiantes que repitieron algún año (que no son pocos) provenían de matrículas anteriores a los cinco años y esto sobrestima el dato de promoción que pueda calcularse respecto a la matrícula inicial. Sin embargo, de los matriculados en cualquiera de los cursos, algunos iban a graduarse por la misma razón en algún año posterior a los cinco años; y esto subestima el número de graduados en un determinado curso. Si ambos efectos son de magnitudes similares podemos suponer con buena aproximación que el número de graduados de cada matrícula inicial es el que se reporta en la figura. De cualquier modo es evidente la relativa independendencia del número de egresados respecto a la matrícula que los generó: mientras que las oscilaciones de las matriculas llegan a más de 150 estudiantes, las correspondientes variaciones de los egresados difícilmente sobrepasan

los 15 estudiantes. De esta figura se puede obtener el por ciento de estudiantes que se graduaron en cada uno de los cursos, este por ciento se muestra en la Figura 4. Si consideramos que esta última cifra está de alguna manera relacionada con la eficiencia, la mayor eficiencia (descartando algunas fluctuaciones) se presenta en la década de los 90.

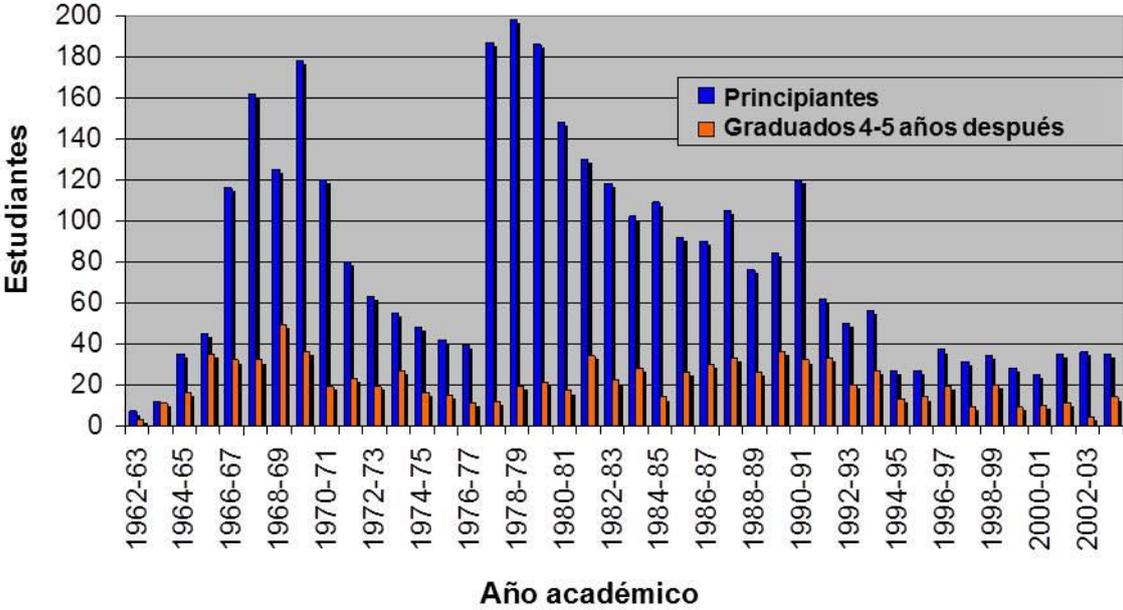


Figura 3

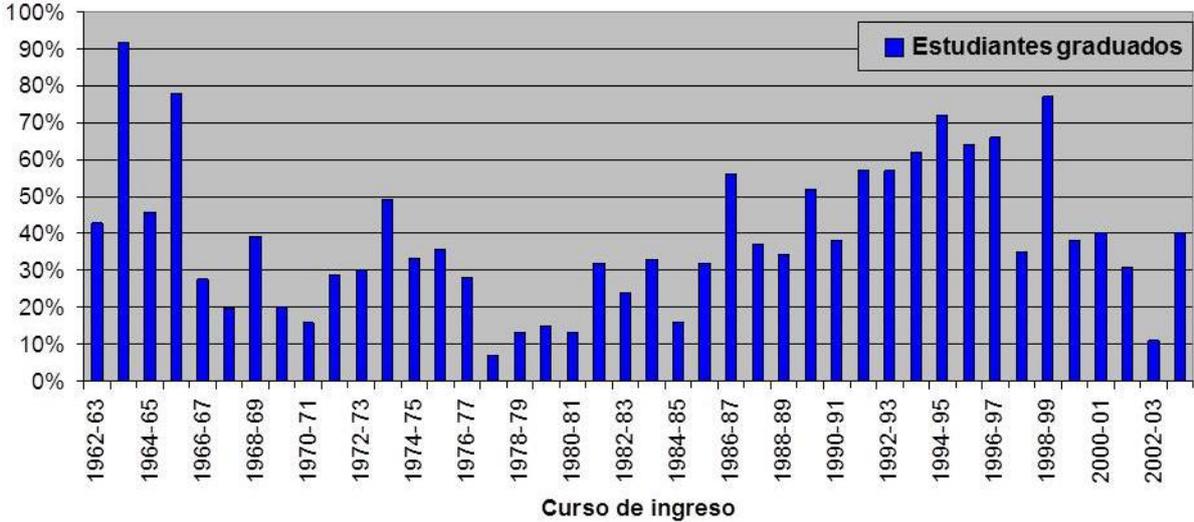


Figura 4

Un interesante comportamiento que puede observarse en la Figura 3 es el decrecimiento de las matrículas durante el periodo 1970-76. Resulta extraño ya que es precisamente a finales de los

años 60 que se sitúa el despegue de la física en Cuba. Parece ser que este comportamiento se debe a múltiples factores. Una ubicación laboral en algunos casos poco deseable y el reconocimiento por los estudiantes de preuniversitario de un grado de dificultad elevado para aprobar la carrera de física pueden haber sido dos de los factores. También, durante este periodo parece haberse reforzado la política de enviar estudiantes para estudiar física en los entonces países socialistas. Otros dos factores que pueden haber influido son: la apertura de la carrera de física en la Universidad de Las Villas y la decisión de reducir la fuente de estudiantes para ingresar en la Universidad de La Habana a aquellos provenientes de preuniversitarios del occidente del país (los otros debían estudiar en la Universidad de Las Villas o la de Oriente). A mediados de los setenta las graduaciones de preuniversitario eran ya mucho más altas y se volvió a priorizar la Física en los planes de ingreso a la Universidad. Además, la colaboración con los países socialistas de entonces se inclinó hacia el postgrado. La poca influencia que se observa de la matrícula inicial sobre el número de graduados refleja en opinión de los autores, que siendo la cantidad de jóvenes interesados y con reales aptitudes para la física realmente pequeña; una ampliación de la matrícula ha servido sólo para llenar las aulas de los primeros años sin una real contribución al número de egresados. Este análisis conduce a la conclusión de que cualquier intento de aumentar las matrículas debe estar acompañado de una fuerte labor de motivación hacia la física, y desde luego de un procedimiento de selección.

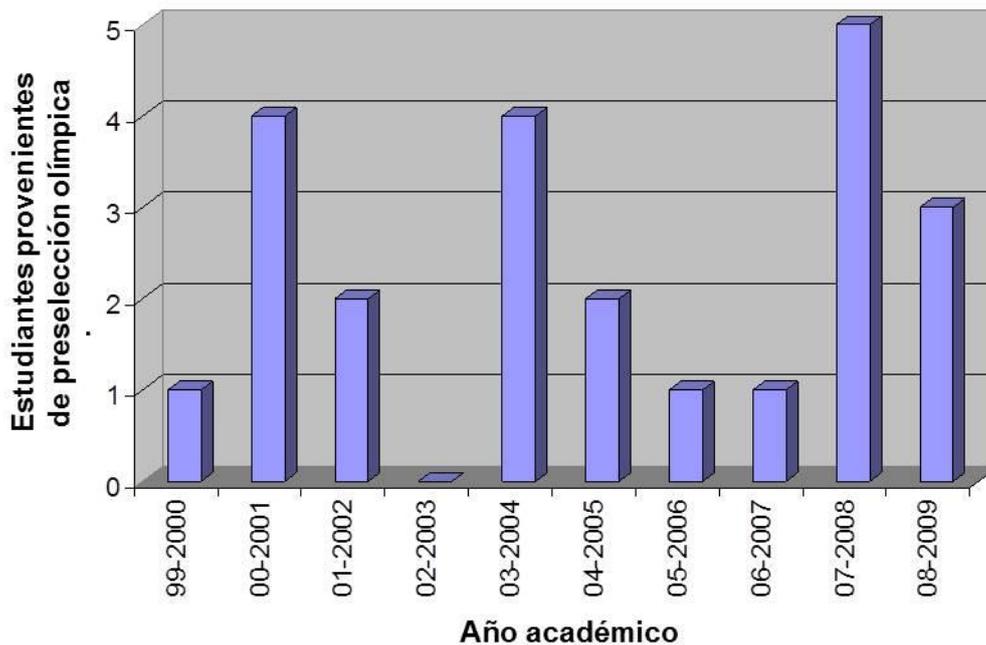
Para aumentar la motivación de los estudiantes hacia la carrera de Física, se tomaron dos medidas importantes recientemente. Una fue establecer un sistema de ingreso diferente para las carreras de Física, Química y Matemática. La otra fue la creación de una nueva carrera: la ingeniería física.

El nuevo sistema de ingreso se inició en el curso 2003-2004. Su efectividad para aumentar la cantidad de estudiantes generó algunas controversias desde el inicio. El nuevo sistema preveía la realización de un examen especial que permitiría seleccionar los estudiantes que entrarían en la carrera. La controversia consistía en que aparentemente un sistema de este tipo podía desalentar a los estudiantes más que motivarlos. Sin embargo, el sistema en si permitía decidir quién entraba o no, y podría resultar más atractivo para los estudiantes con inclinación hacia la física que lo veían como un reto y que de aprobar el examen tendrían garantizada la carrera desde mucho tiempo antes que los demás. Además, los exámenes fueron diseñados de forma tal que pudieran ayudar a distinguir los jóvenes que aún teniendo una formación en física inadecuada, poseían capacidades de razonamiento satisfactorias y alguna intuición física.

Según se puede observar en la Figura 2, este sistema (por lo menos) no provocó una caída de la matrícula con respecto a años anteriores. Sólo se ha graduado un grupo de los que entró a la carrera mediante este procedimiento por lo que se hace difícil todavía valorar la eficiencia del mismo. Este sistema por su propia naturaleza estimuló la elevación de la calidad del trabajo vocacional porque se hizo necesario realizar visitas a los preuniversitarios para explicar las características del examen, divulgar las fechas, y en general exponer las características de la carrera y de su plan de estudios. A muchos profesores nos parece que la calidad del estudiantado ha mejorado desde que comenzó la aplicación de este sistema de ingreso, sin embargo, aún no tenemos datos que lo demuestren fehacientemente. Habrá que esperar algunos años más para observar cómo se comportan el número de egresados y por ejemplo, las barras de la Figura 4. Dado el pequeño número de estudiantes, las fluctuaciones juegan un papel importante en estos datos estadísticos.

La carrera de Ingeniería Física se inauguró en septiembre de 2007. Esta carrera persigue la formación de un ingeniero con amplios conocimientos de física y matemática. Es una carrera más dirigida a las aplicaciones y en su plan de estudio destacan como diferencia con la licenciatura una mayor presencia de la electrónica, la computación y la química a costa de una disminución en las horas dedicadas a la física teórica y en general a las matemáticas. La creación de esta carrera constituyó un riesgo: la pobre matrícula de físicos podría dividirse en dos. Esto no ha ocurrido al menos hasta el momento. Si se observa el comportamiento de la matrícula de la Figura 2 se verá que los dos últimos años indican un incremento del número de estudiantes en primer año. En las barras de los dos últimos cursos están incluidos tanto los estudiantes de física como los de ingeniería física. Estos últimos son sólo cinco en el curso 07-08 pero ascienden a 21 en el curso 08-09. Considerando sólo las matrículas de estos dos años, la creación de la carrera de ingeniería física ha representado un incremento neto de la matrícula que alcanzó en el curso 08-09 el valor más alto de los últimos quince años. Aquí desde luego vale también la advertencia del párrafo anterior relacionada con las fluctuaciones. La participación de Cuba en las olimpiadas internacionales de conocimientos de nivel preuniversitario ha sido tradicionalmente destacada en general y particularmente en lo que a la física se refiere. Los equipos cubanos han tenido actuaciones relevantes tanto en las Olimpiadas Internacionales como en las iberoamericanas [3]. El trabajo de preparación de estos equipos que participan en esas olimpiadas incluye la formación de una preselección de estudiantes de preuniversitario, que realiza un entrenamiento especial en la solución de problemas y en tareas experimentales. Esta preselección pudiera ser una fuente de estudiantes

interesados y de calidad para la carrera de física. Sin embargo, no siempre ha sido así. La Figura 5 presenta el número de estudiantes procedentes de esta preselección que matricularon la carrera en los últimos 10 años. Si se toma en cuenta que esta preselección está formada por alrededor de 20 estudiantes entre ellos no menos de seis o siete con del grado terminal del preuniversitario, llegamos a la conclusión de que esta fuente no ha sido siempre bien aprovechada: en algunos casos estos estudiantes a pesar de que han tenido una formación especializada en física, prefieren otras carreras.



**Figura 5**

En relación con el pregrado debemos agregar que el arsenal de físicos cubanos se ha formado también a partir de otras fuentes no consideradas en el análisis anterior. La Licenciatura en Física existe también en la Universidad de Oriente desde 1970 y hasta el 2000 se habían graduado allí 334 físicos [4]. En la Universidad Central de las Villas se habían graduado 12 físicos antes de 1976 [5] y se ha reabierto la carrera a partir del curso 2006-2007. También el Instituto Superior en Ciencia y Tecnología Nuclear ha graduado un número importante de Físicos Nucleares. Por último, algunas decenas de físicos realizaron sus estudios en otros países, principalmente en la ex Unión Soviética. Tomando en cuenta todas las fuentes, no sin un gran error, pudiera estimarse el número de graduados de física en unos 2000.

## Estudios de postgrado

Un paso importante en el desarrollo de la enseñanza de la Física en Cuba fue el establecimiento de programas de postgrado. En la década de los 70 se inició un programa de maestría en Física en la Universidad de la Habana en el que se estima se hayan graduado unos 40 maestros en ciencias físicas; luego de un periodo de interrupción, se reiniciaron estos estudios en 1994. En esta segunda etapa se han graduado 135 maestros en Ciencias Físicas en diversas ramas que incluyen la teoría de la materia condensada, la física de los dispositivos semiconductores, la obtención y caracterización de distintos tipos de materiales, y más recientemente la física de los sistemas complejos. El programa fue acreditado por la Junta Nacional de Acreditación como un programa de excelencia [6]. La Tabla 1 presenta un resumen de los matriculados y los graduados en cada edición.

<b>Edición</b>	<b>Fecha</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Egresados</b>
<b>1</b>	1994	42	42
<b>2</b>	1996	24	24
<b>3</b>	1998	26	25
<b>4</b>	2000	23	18
<b>5</b>	2003	40	26
<b>Total</b>		155	135

**Tabla 1:** Estadísticas de la Maestría en Ciencias Físicas.

En Cuba se defienden tesis de doctorado en Física desde 1974. Un diagnóstico del estado de la Física en Cuba [7] realizado en el año 2001 presenta datos recogidos de la Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC), una actualización de estos datos se resume en las Figuras 6 y 7. Ellos son la cantidad de defensas por año y la distribución por temáticas. La cantidad de doctores recogida en estos datos es 214, habría que sumar aquellos que se graduaron en el extranjero y probablemente la cifra alcanzaría los 250 o 300 doctores. La mayoría de los doctorados han requerido y requieren de una contribución apreciable de programas, instituciones y laboratorios de otros países. Esto es debido fundamentalmente a la escasez de equipamiento con la consecuencia ulterior de un alargamiento más allá de lo habitual de la duración de los estudios de doctorado en muchos casos.

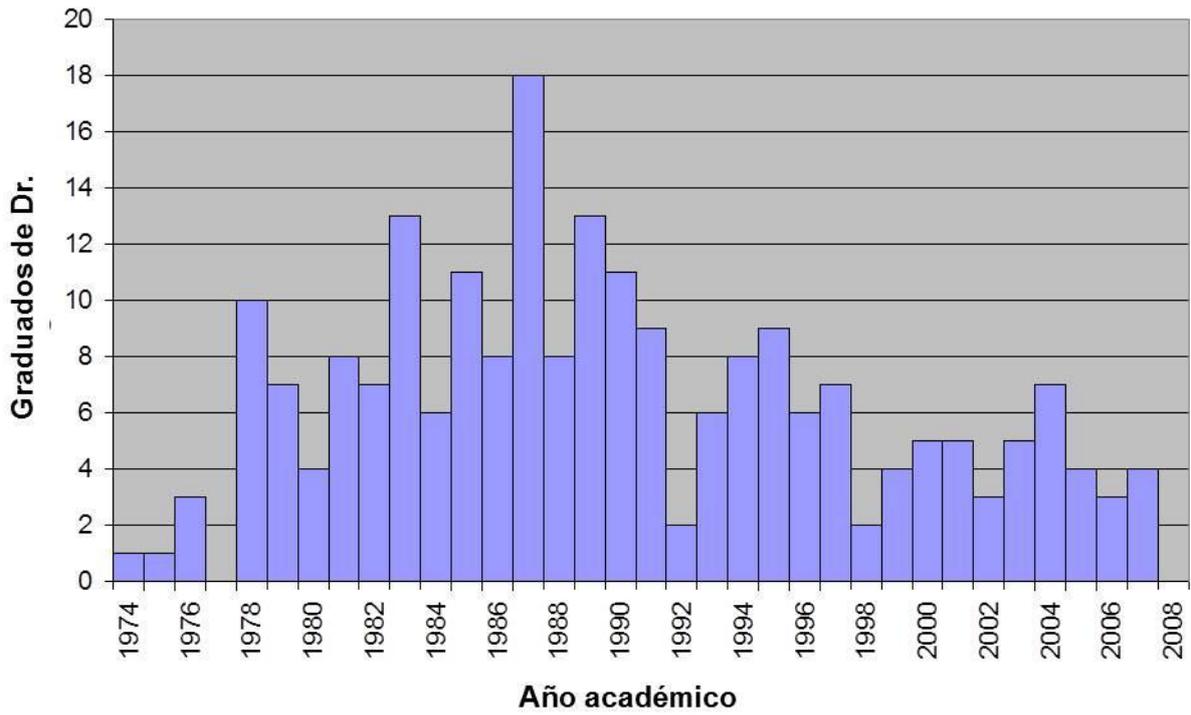


Figura 6

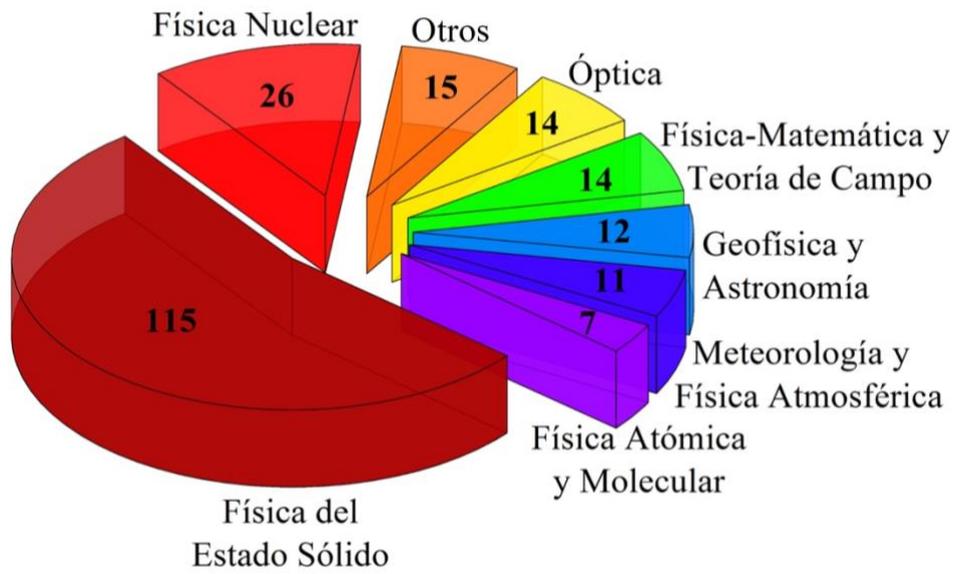


Figura 7

## Conclusiones

La Universidad de La Habana, sin ser la única fuente de físicos en Cuba, ha formado la mayor parte de ellos. En los 46 años de existencia la carrera ha transitado por unos seis planes de estudio, lo que le ha permitido mantener un nivel adecuado de actualización. Se ha mantenido prácticamente todo este tiempo con un formato de cinco años luego de los cuales ofrece un título de licenciado. Es requisito para la graduación la realización de un trabajo de diploma de investigación que es defendido ante un tribunal. Desde inicios de los 90 se ha observado una tendencia a la disminución del número de estudiantes. Esto ha motivado algunas acciones como por ejemplo un incremento de la actividad de formación vocacional, la implantación de un nuevo sistema de ingreso a partir del curso 2003- 2004; y la creación de una nueva carrera: la ingeniería física. Debido a la poca cantidad de estudiantes es aún prematuro hacer un balance de los resultados de esas medidas; aun así parece observarse una tendencia a un discreto incremento de la cantidad y la calidad de los mismos. Los programas de postgrado en física en Cuba existen desde la década de los 70 y han formado a cientos de físicos cubanos en la actividad investigativa.

En este trabajo hemos tratado de verter opiniones objetivas basadas en datos recogidos en su mayor parte de los archivos de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana y de la Comisión Nacional de Grados Científicos. Probablemente algunas de las estimaciones numéricas que se indican para datos generales de Cuba pudieran precisarse mejor y son dadas aquí sólo como valores indicativos.

No queremos terminar este trabajo sin incluir algunas apreciaciones cualitativas que de alguna manera permitan completar una visión general de la carrera de física cubana. Los graduados de física cubanos habitualmente han tenido éxito en sus estudios de postgrado en universidades y centros de investigación extranjeros incluyendo a universidades de altos “estándares” en América Latina y Europa. En Cuba, existe entre los empleadores que han recibidos graduados de física en sus centros una buena opinión de la preparación y habilidades de los mismos. Aquí queremos citar fragmentos de opiniones de dos directores de instituciones científicas que fueron recogidas durante el proceso de acreditación de la carrera de física en el año 2005 [8].

...El desempeño muy frecuentemente excelente de los físicos en las investigaciones biológicas nos ha hecho reflexionar sobre las diferencias que existen entre “formación” e “información”. Los físicos salen con una sólida formación, que se expresa en su estructura de pensamiento, su capacidad de transitar ida y vuelta entre el modelo y el experimento, su capacidad de ubicarse en la literatura científica y distinguir las regularidades esenciales de

los fenómenos específicos de un modelo experimental concreto, y su capacidad de “recombinar” información de campos diferentes de la ciencia...

...han demostrado una excelente preparación teórica, un adecuado enfoque de la actividad de investigación, vinculado, a nuestro juicio, con una visión amplia y consecuente de la estructura de la materia y lo que es más importante, con un elevado sentido de la ética científica que los distingue de los graduados de otras especialidades... si fuese instado a nominar una “Escuela Científica” en la Universidad de la Habana, escogería, sin dudas a la Facultad de Física, la que creo que constituye un orgullo para nuestra Universidad por el rigor, el nivel científico y la calidad humana de sus graduados.... [9]

## Agradecimientos

Agradecemos a varios colegas de la Facultad de Física por sus útiles sugerencias y comentarios y en particular al Dr. C. Rodríguez Castellanos por la lectura crítica que realizó al documento y por los datos que aportó. También a J. Almaral, A. Cedeño, O. González y M. Coderch por la ayuda en la búsqueda de información.

## Referencias

- [1] Henriques Rodríguez, Ruth Daysi (2001): *Revista Cubana de Educación Superior* XXI (8).
- [2] Altshuler, José, Angelo Baracca (en este número).
- [3] Baracca, Angelo; Fajer, Victor; Rodríguez, Carlos (2006): *Physics Today*, Sept., 42.
- [4] Méndez Pérez, Luis, Angelo Baracca (2001): *Revista Cubana de Física* 18, 146.
- [5] Baracca, Angelo; Víctor Fajer; Carlos Rodríguez (en este número).
- [6] Sánchez, M. (2002): Informe presentado en defensa de la acreditación de la maestría, enero (2002)
- [7] Rodríguez, C. (2001): Diagnóstico del estado de la Física en Cuba (no publicado)
- [8] Fragmento de carta emitida por el Dr. A. Lage Dávila, Director del Centro de Inmunología Molecular de La Habana
- [9] Fragmento de carta emitida por el Dr. R. López Cordero, Director de la unidad de catálisis del Centro de Investigaciones del Petróleo de La Habana



## **12 Física y Mujer: un desafío afrontado con éxitos en Cuba**

**Olimpia Arias de Fuentes<sup>1</sup>**

### **Una introducción necesaria**

La historia de la Física en Cuba, al igual que todo el desarrollo educacional y científico del país, no puede realizarse sin tener en cuenta su estrecha relación con los cambios sociales que han ocurrido en Cuba durante las cinco décadas transcurridas desde 1959 y menos aún, con el papel que ha protagonizado la mujer dentro de este proceso. Por otra parte, coincidimos con otras autoras sobre el hecho de que el vínculo ciencia y género va resultando cada vez más un tema de especial interés (Fernández Rius, 2000).

Para nosotros constituye un verdadero reto presentar un esbozo sobre el papel de la mujer en la Física en Cuba, en el contexto de esta ocasión especial donde se hará una recopilación de los momentos más importantes del desarrollo de esta ciencia en el país.

El enfoque que pudiera dársele al tema es diverso y la enumeración completa y detallada de sucesos significativos y datos, no es posible realizarla en pocas páginas. Sin embargo, considerándome con legítimo orgullo parte de las físicas cubanas, me parece importante reflexionar sobre algunos hechos que enfatizan el rol destacado que ha desempeñado nuestro género en esta disciplina en el país. Téngase en cuenta que los cambios en la subjetividad individual son procesos lentos y con resultados en el largo plazo, sobre todo cuando se trata de formas de pensar arraigadas durante miles de años, por ello resulta un gran desafío hacerse sentir dentro de una masa predominantemente masculina, con una herencia cultural androcentrista y por ende, donde todavía prevalecen determinados valores, modos de actuar y barreras sociales, a pesar de los enormes esfuerzos del país por revertirlos, desde hace ya más de 50 años.

En el campo académico, estos desafíos para las físicas cubanas son aún mayores, teniendo en cuenta la dedicación y el tiempo que conlleva este tipo de actividad y la demanda real de tiempo que requiere el ejercicio de los roles que habitualmente desempeña la mujer en la sociedad y fundamentalmente en la familia. Como anécdota interesante sobre una forma de

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

pensar bastante generalizada en los físicos, una estudiosa cubana del tema género y ciencia comentaba que:

un amigo, dedicado a la Física, – ciencia tradicionalmente masculina – me dijo en una ocasión con el don de la verdad: Las mujeres no pueden rendir bien en las Ciencias, no pueden concentrarse como nosotros, pues tienen una neurona en el ordenador y las restantes en lo doméstico y los hijos, no disponen del mismo tiempo para entregarse horas y horas al trabajo. (Fernández Rius 2000)

Estudios realizados reportan barreras similares para el desempeño de las mujeres físicas en todo el mundo (Ivie et al. 2002). Estas barreras están relacionadas fundamentalmente con el conflicto existente entre el gran tiempo que requiere el cuidado de los hijos y el igualmente grande que requiere la Física. A ello se asocia el hecho por el cual el campo de las Ciencias Físicas sea uno de los más deficitarios en mujeres a nivel mundial y nuestro país no resulta una excepción en ello. Estos mismos motivos hacen que, en general, los logros de las mujeres físicas estén en una relación directa no sólo con su inteligencia, sino además con el intenso trabajo que realizan para poder compensar el menor tiempo que pueden dedicar a la ciencia, si se compara con el que pueden dedicar los físicos hombres.

Sin embargo, aunque el número de mujeres físicas en Cuba, al igual que lo que encontramos en la gran mayoría de los países, por no decir todos, es considerablemente menor que la cantidad de hombres que han estudiado y se han graduado de esta carrera; la presencia de las Físicas en posiciones de liderazgo académico y científico en nuestro país, tiene singularidades prominentes (Arias de Fuentes 2008).

Si bien sería interesante hacer un estudio de caso para buscar las causas que han motivado tal posición de las físicas cubanas, me atrevo a afirmar que mucho ha influido el avance y el incremento del prestigio tanto social como profesional que ha tenido, en general, la mujer en Cuba en estas cinco décadas de Revolución. Ello demuestra lo importante que resulta la voluntad del gobierno para el desempeño de funciones académicas por mujeres. La inserción de la mujer cubana en el proceso de desarrollo del país como protagonista y a la vez como beneficiaria, debe evaluarse como uno de los fenómenos sociales más exitosos ocurridos en este período revolucionario. La mujer ha tenido la posibilidad de acceder al ámbito público en igualdad de condiciones que los hombres.

En la actualidad, en Cuba se gradúan físicos y físicas en la Universidad de La Habana, la más antigua del país fundada en 1728, en la Universidad de Oriente, ubicada en la provincia de Santiago de Cuba y en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. En este

último se gradúan profesionales de la Física con un perfil nuclear y con perfiles dirigidos hacia las geociencias. Alrededor de los años 90, entre estas tres Universidades se graduaba un promedio de 50 físicos (Baracca et al. 2006). Los profesores de física para el nivel preuniversitario se forman en otros centros de educación superior y su perfil es fundamentalmente pedagógico.

### **Algunas cifras interesantes**

Como dato interesante podemos expresar que, el primero de enero de 1959 las féminas cubanas representaban el 55 % de los analfabetos del país, y alrededor del 17 % de la fuerza laboral del país, con una fuente principal de empleo en el trabajo doméstico.<sup>2</sup> En la actualidad, las mujeres en Cuba componen el 46 % de la fuerza laboral activa de la nación en el sector estatal civil y el 65.6 % de los profesionales y técnicos del país.<sup>3</sup>

En el campo científico-técnico podemos citar que las mujeres constituyen el 51.6 % de los investigadores<sup>4</sup> y el 60.4 % de la Reserva Científica del país (González Bermúdez 2008), es decir de los investigadores jóvenes en sus dos primeros años de trabajo, lo cual augura que el incremento del papel de la mujer en este importante sector de la sociedad esté asegurado. Por otra parte, de los 3087 proyectos vigentes que integran los Programas Nacionales, Ramales y Territoriales en el Sistema Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica, el 23 % está dirigido por mujeres (González Bermúdez 2008) y según datos, el país es el segundo de la región con mayor número de mujeres incorporadas a las ciencias (Padilla 2007). En Cuba, del total de todos los graduados universitarios el 65 % son mujeres<sup>5</sup> pero, en la Física en particular, esta proporción es mucho menor. Su valor oscila alrededor de un 20 %.

En la Figura 1 se muestran, por décadas, los datos porcentuales de mujeres graduadas de la carrera de Física. La información se corresponde con los egresados de la Universidad de La Habana, principal fuente de físicos del país. Los primeros físicos se laurearon en 1964. En esta gráfica resulta interesante el hecho de que el porcentaje de mujeres graduadas de esta

---

<sup>2</sup> Presencia de la mujer en la Salud Pública Cubana – Infomed:

[http://bvs.sld.cu/revistas/spu/vol35\\_1\\_09/spu10109.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/spu/vol35_1_09/spu10109.htm)

<sup>3</sup> Aniversario 50 del Triunfo de la Revolución. Mujeres Cubanas en Cifras (2008):

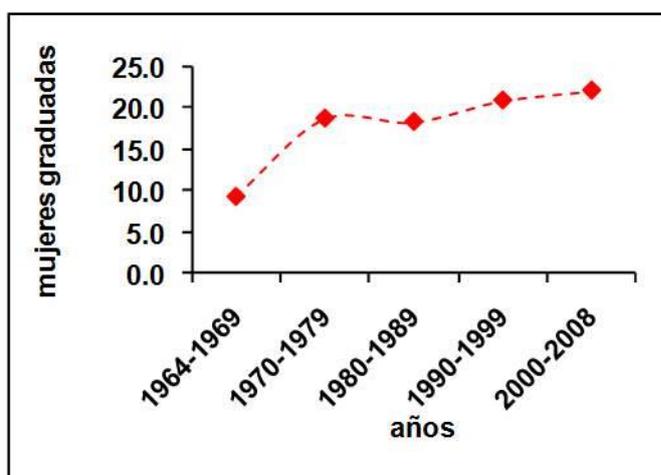
<http://www.mujeres.co.cu/50%20aniversario/textos/Mujeres%20cubanas%20en%20cifras%20%282008%29.htm>

1

<sup>4</sup> Ver nota 2.

<sup>5</sup> Ver nota 2.

especialidad ha ido incrementándose década tras década hasta alcanzar un 22.2 % en el período 2000–2008.



**Figura 1:** Datos por décadas de los % de mujeres graduadas de Física en la Universidad de La Habana (período 1964–2008).

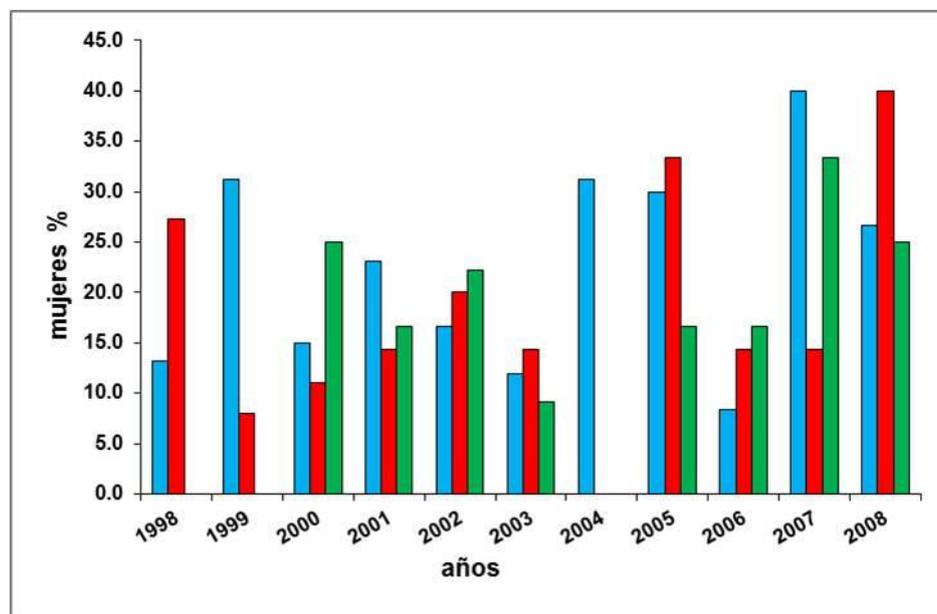
En Cuba, el 72 % de la fuerza laboral del sector Educación está compuesto por mujeres. En la Universidad de La Habana constituyen el 61 % de los docentes (Fernández Rius 2000) aunque en la Facultad de Física, en particular, el claustro está integrado sólo por un 27.3 %. Sin embargo, estando en minoría en el claustro, el número de directivos principales de la Facultad (decano y vicedecanos) tiene desde hace varios años un 66 % de presencia femenina. Un hecho importante que marca un hito en la historia de la mujer física en Cuba, resulta la elección por primera vez, en el año 2009, de una mujer como Decana de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana.

En la Figura 2 se muestran los datos porcentuales correspondientes a la década 1998-2008 de las mujeres graduadas en Física en los diferentes niveles (Licenciatura, Maestría y Doctorado). De manera general, en esta década, el 20 % de los graduados de física en el primer nivel (Licenciados) son mujeres, mientras que el porcentaje en los Máster en Física y en los Doctores en Física es del 16 % en ambos casos. Esta información está referida a los graduados de todo el país en estos niveles. Por otra parte, encontramos que, del total de Máster en Física graduados en el país desde 1994, año en que se reinicia el programa de Maestría en Física después de una primera efímera existencia alrededor de los años 70 (Baracca 2006), el 16 % son féminas; mientras que del total de Doctores en Física defendidos

en Cuba desde que se iniciara el programa de Doctorado en Física en 1974, sólo el 11 % se corresponde con mujeres.

Es interesante, sin embargo, el hecho de que a pesar de estar en minoría, si nos referimos a reconocimientos otorgados, puede encontrarse que en varios cursos académicos la selección del graduado más integral de la carrera de Física de la Universidad de La Habana se ha correspondido con mujeres. En los últimos tres cursos, de los tres graduados más integrales dos han sido mujeres, una de las cuales resultó ser además, la graduada más integral de toda la Universidad de La Habana.

De los físicos que han obtenido la Orden “Carlos J. Finlay”, la mayor distinción que otorga el Estado cubano a aquellos profesionales que han realizado un aporte importante al avance científico del país, el 33 % son mujeres. Hay también una buena representación de mujeres físicas en los Premios Nacionales Anuales que otorga la Academia de Ciencias de Cuba. En particular, en el año 2005 fueron siete los trabajos premiados cuyas temáticas estaban vinculadas a la Física. De ellos, tres tenían a una mujer física como autora principal del trabajo. Aunque esta proporción no se comporta de igual manera todos los años, existe una presencia frecuente de mujeres físicas en estos premios.



**Figura 2:** Datos de los % de mujeres graduadas de Física en los diversos niveles (década 1998-2008). ■ Licenciatura ■ Maestría ■ Doctorado.

En general, encontramos que varias mujeres físicas figuran en la lista de premiadas con diferentes condecoraciones y reconocimientos nacionales entre los que se destacan la Medalla “José Tey” que confiere el Consejo de Estado de la República de Cuba, la Distinción por la Educación Cubana, la Distinción Especial del Ministro de Educación Superior, los diplomas y medallas otorgados por la participación en las tareas preparatorias para la realización del Primer Vuelo Espacial Conjunto Soviético-Cubano, así como premios Relevante del Fórum Nacional de Ciencia y Técnica en diferentes años, entre otros.

Otro aspecto que habla a favor del reconocimiento nacional de las físicas es el hecho de que del total de Académicos físicos, algo más del 35 % son mujeres. Este porcentaje en la Sección de Ciencias Exactas y Naturales es del 30 %. Como dato importante se debe señalar que, las dos propuestas que Cuba envió para integrar la candidatura para miembro del Comité Regional para América Latina y el Caribe del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU) fueron mujeres, ambas físicas y de ellas, una resultó también elegida por el ICSU como integrante de su directiva. Ello también demuestra el reconocimiento tanto nacional como internacional que tienen nuestras físicas.

El reconocimiento internacional puede además observarse en el hecho de que una física cubana fue electa miembro de la Academia de Ciencias para el Mundo en Desarrollo (TWAS), la cual reúne a investigadores de unos 90 países seleccionados mediante un proceso altamente competitivo, pues menos del 25 % de los nominados resultan finalmente promovidos y lo esencial que se tiene en cuenta son los méritos acumulados en la trayectoria profesional de los aspirantes.<sup>6</sup> Cuba posee 8 miembros en esta organización, de los cuales tres son mujeres. De los 8 miembros dos son físicos y de los físicos, uno de ellos es mujer (50 %).

También una mujer física cubana fue miembro del Consejo Ejecutivo de la Organización de Mujeres Científicas del Tercer Mundo-TWOWS (actualmente Organización para la Mujer en la Ciencia para el Mundo en Desarrollo -OWSDW), donde ocupó el cargo de Vicepresidenta para América Latina y el Caribe en el período 1999-2006. Ella es además la Presidenta del Capítulo Cubano de esta organización de mujeres científicas, el cual funciona bajo el amparo de la Comisión de Mujeres Científicas de la Academia de Ciencias de Cuba. Esta Comisión

---

<sup>6</sup> Cuba News Headlines; Cuban Daily News (21.11.2008); “Eligen a científica cubana miembro de academia internacional”: [http://www.cubaheadlines.com/es/2008/11/21/14528/eligen\\_a\\_cientifica\\_cubana\\_miembro\\_de\\_academia\\_internacional.html](http://www.cubaheadlines.com/es/2008/11/21/14528/eligen_a_cientifica_cubana_miembro_de_academia_internacional.html)

premia cada año a las mujeres autoras principales de los premios de la Academia a la excelencia científica en Cuba donde varias mujeres físicas han obtenido reconocimientos.

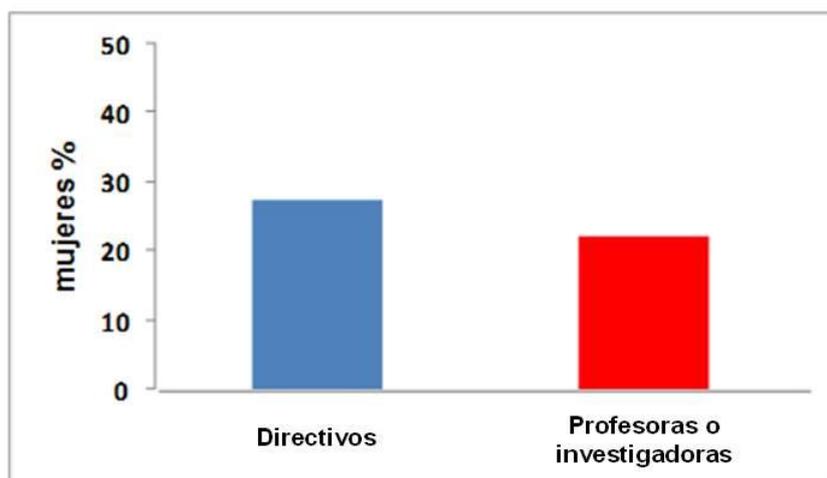
Un acontecimiento que resulta de una gran trascendencia y reconocimiento internacional para las jóvenes físicas cubanas, lo constituye el hecho de que el premio a la excelencia científica otorgado por la Fundación Elsevier, la TWAS (Academia de Ciencias del Tercer Mundo) y la actual OWSDW a las mujeres más talentosas en Física de las diferentes regiones del tercer mundo, en la región de América Latina y el Caribe haya sido conferido a una física cubana, actual Vicedecana Docente de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana.

Por otra parte, entre los premios instituidos por la Asociación Latinoamericana de Sociedades de Biología y Medicina Nuclear, (ALASBIMN) con el objetivo de estimular la investigación y el desarrollo de la medicina nuclear y sus ramas afines, sólo uno de ellos corresponde al nombre de una mujer, el Premio “Mercedes Borrón” para técnicos. Este premio fue establecido por esta Asociación en honor a esta eminente física cubana, desaparecida en el año 2002, que trabajaba en esta rama de la física y que había sido laureada con premios de esta Asociación.

El premio internacional “Sofía Kovalievskaja”, promovido por la organización del mismo nombre, con el propósito de estimular una mayor presencia de la mujer en los sectores de la ciencia y la tecnología en las naciones en desarrollo, ha sido otorgado a 15 mujeres cubanas desde que comenzó a entregarse en Cuba con carácter bienal en el año 2003. De las 15 laureadas 6 son mujeres físicas.

Una física cubana también fue condecorada con la Medalla “Valentina Tereshkova”, otorgada por la Federación Rusa, por su destacada participación en las investigaciones que se desarrollaron durante el Vuelo Espacial Conjunto Soviético-Cubano.

La información referida al porcentaje de mujeres físicas con cargos directivos, así como de aquellas que se desempeñan como profesoras o investigadoras en las cuatro universidades del país que cuentan con el mayor claustro de físicos, se muestra en la Figura 3 (Arias de Fuentes et al. 2009). En ella también se han incluido dos centros de investigación del país que poseen un número significativo de físicos.



**Figura 3:** Datos de los % de mujeres físicas directivas, profesoras o investigadoras en el total de físicos de las universidades y centros científicos con un mayor número de físicos.

Es interesante señalar que, el porcentaje de mujeres físicas directivos científicos es mayor que el porcentaje de mujeres físicas profesoras e investigadoras. Ello constituye un índice del liderazgo académico y científico que han alcanzado las mujeres físicas en nuestro país y enfatiza el avance que ha ido adquiriendo la mujer en Cuba y el incremento de su prestigio social en la actividad académica nacional (Arias de Fuentes 2008).

Resulta también interesante que estando en una gran minoría, sean mujeres físicas quienes ocupen o hayan ocupado puestos directivos importantes en el país, tales como:

- Directora de Ciencias del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).
- Delegada Nacional del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- Presidenta de la Comisión de Mujeres Científicas de la Academia de Ciencias de Cuba.
- Asesora científica en el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).
- Directora del Centro de Gerencia de Programas del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).
- Directora de la Dirección Integrada de Proyectos de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada.

- Rectora del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, una de las tres universidades del país donde se gradúan físicos.
- Asesora del Rector de la Universidad de La Habana, la mayor y más importante universidad del país.
- Vicerrectora del Instituto Superior Politécnico “José A. Echevarría”, una de las cuatro universidades del país con un mayor número de físicos en su claustro.
- Vicedirectora de Investigaciones de la Escuela de Física de la Universidad de La Habana.
- Decana y Vicedecana de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, universidad con el mayor número de físicos en su claustro.
- Vicedirectora del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana, uno de los centros científicos del país con un mayor número de físicos.
- Miembro del Grupo gestor que fundó la Sociedad Cubana de Física.
- Presidenta y Vicepresidenta de la Sociedad Cubana de Física.
- Editora de la Revista Cubana de Física.
- Directora del Instituto de Investigaciones y Proyectos para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), centro rector en investigaciones tecnológicas relacionadas con la minería en Cuba.
- Vicedirectora del Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF), uno de los centros científicos del país con un mayor número de físicos.
- Jefa del Departamento de Física del Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF).
- Directora del Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA).
- Directora y Vicedirectora del Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME). (Arias de Fuentes 2001).

### **Primeras mujeres graduadas de Física**

El 10 de enero de 1962, en el 33 aniversario del asesinato por esbirros de la tiranía de Julio Antonio Mella, quien dirigió el primer movimiento para una reforma general en la Universidad de La Habana, se promulga la Ley de Reforma Universitaria. Se fundan nuevas

carreras, facultades y centros de investigación.<sup>7</sup> Se rompe con la vieja estructura de la Facultad de Ciencias, que aglutinaba departamentos diversos de Física, Química, Matemáticas y Ciencias Naturales y surgen las Escuelas correspondientes y en particular, la Escuela de Física de la Universidad de La Habana (Pérez Rojas 1976). Es en este momento que surge la física como carrera independiente, ya que anteriormente la Universidad de La Habana sólo ofrecía el título de Ciencias Físico-Matemáticas y Ciencias Químico-Físicas, carreras ambas fundamentalmente dedicadas a la formación de profesores para el nivel preuniversitario. No es hasta 1984 que la Escuela de Física se nominaliza como facultad y surge así la actual Facultad de Física de la Universidad de La Habana.

En 1964 se gradúan los primeros cuatro físicos (Pérez Rojas 1976). Es de resaltar que ya desde estos primeros momentos hay una presencia femenina importante, pues de ellos, dos fueron mujeres (50 %), una de las cuales es Profesora Titular de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana. En 1965 también se gradúan cuatro físicos entre ellos una mujer (25 %) y en 1966 se incorporan, a la entonces Escuela de Física, nuevos graduados varios de ellos procedentes de la antigua Unión Soviética donde habían cursado la carrera de Física (Pérez Rojas 1976). Estos nuevos egresados de universidades extranjeras fueron 6 físicos, de ellos 2 mujeres (33.3 %).

### **Algunos momentos importantes de la Física en Cuba y la presencia de mujeres físicas en ellos**

Desde los primeros hechos importantes para el desarrollo de la Física en Cuba, que tuvieron lugar en las décadas de los años 60 y 70, la mujer física tuvo un protagonismo substancial. Mujeres físicas no sólo participaron en relevantes colectivos de investigación en estas décadas, sino que en muchos casos fueron las principales autoras de los primeros resultados que se obtuvieron en nuestro país en esos años, tales como:

- El primer diodo semiconductor de aleación obtenido en 1967, hecho que marcó el nacimiento de las investigaciones en Física del Estado Sólido en nuestro país (Baracca 2006).

---

<sup>7</sup> Informe al Claustro Universitario convocado en conmemoración del 280 Aniversario de la fundación de la Universidad de La Habana. 2008. Teatro Astral, La Habana.

- La creación en la Universidad de La Habana del laboratorio de tecnología planar basada en silicio, laboratorio conocido por todos por “la casita” y todos los resultados derivados de las investigaciones que en él se realizaron.
- La obtención de los primeros transistores y circuitos integrados a nivel de laboratorio en 1969 (Arias de Fuentes 1993, 1997, 2001).
- El desarrollo de diodos de emisión de luz (LEDs) en los años 70.
- Las primeras publicaciones en Física de Semiconductores en revistas indexadas.

Vale comentar que durante el período 70-75 fue también una mujer física quien estuvo al frente de la Sub-dirección de Investigaciones de la en aquél entonces Escuela de Física de la Universidad de La Habana y que también mujeres físicas ocuparon responsabilidades de jefe de Laboratorios Docentes y del Departamento Docente en esta misma Escuela de Física de la Universidad de La Habana. Cabe destacar que una actividad realmente importante como fue la concepción, montaje y organización de los primeros laboratorios docentes de la Escuela de Física fue realizada bajo la dirección de una mujer física.

Entre otros de los momentos trascendentales del desarrollo de la física en Cuba en los que la mujer física tuvo una participación destacada podemos citar los siguientes:

- La obtención de las primeras celdas solares en el laboratorio (Arias de Fuentes 2001).
- La creación y desarrollo del Centro de Investigaciones en Microelectrónica en la CUJAE (Arias de Fuentes 2001).
- La fundación del Instituto de Física Nuclear que en la primera captación de físicos en Cuba, incluyó a cinco físicas.
- La fundación del Instituto de Investigaciones Técnicas Fundamentales (ININTEF), de donde se derivó posteriormente, el Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF). En el ICIMAF se desarrolló un importante Grupo de Física Teórica, con presencia femenina y donde se han formado nuevas generaciones de físicas teóricas. Una mujer física, fue la Vice-directora del ICIMAF, durante 9 años.
- La fundación en 1985 del Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) (Arias de Fuentes 1993, 1997, 2001), denominado posteriormente Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, en cuya Subdirección cuando fue fundado y con posterioridad también ha ocupado el cargo una mujer física.

- El diseño y desarrollo de los primeros circuitos integrados a la orden (ASIC) (Arias de Fuentes 2001).
- El crecimiento epitaxial en el espacio, en septiembre de 1980, como parte de los experimentos que se realizaron en el cosmos con motivo del Vuelo Conjunto Soviético-Cubano.
- La transferencia de la tecnología del desarrollo de LEDs, en la década de los años 80, a la Industria de Semiconductores Cubana existente en aquellos años.
- Su activo rol en el desarrollo de investigaciones en el campo de las celdas solares fotovoltaicas.

En particular, la fundación de la Sociedad Cubana de Física en 1979, tuvo en su grupo gestor y organizador una mujer, la cual fue posteriormente miembro del ejecutivo de la Sociedad durante dos períodos de mandato, como Secretaria Ejecutiva primero y como Vicepresidenta de esta Sociedad después. En dos períodos posteriores ha sido elegida como Presidenta de la Sociedad una mujer. Paralelamente se crea la Revista Cubana de Física con participación también femenina. Por varios años su editora fue también una mujer física. Dentro de la directiva de la Sociedad, también han seguido estando presentes nuestras físicas.

Por último queremos señalar que dentro de las acciones que las Físicas Cubanas hemos promovido, con el apoyo de la Sociedad Cubana de Física, la Cátedra de la Mujer de la Universidad de La Habana y del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, se encuentra la creación, en el año 2002, del Grupo de Trabajo de Mujeres Físicas en el país. Este Grupo de Trabajo ha venido participando, desde sus inicios en el 2002, en las Conferencias Internacionales de Mujeres en la Física donde se han presentado diferentes trabajos (Alvarez et al. 2002, 2005; Arias de Fuentes 2009; Vigil 2009). Además, este Grupo ha promovido que en cada espacio posible, así como en los eventos científicos organizados, se presenten mesas redondas o paneles sobre la participación de las mujeres. En especial, las físicas y las matemáticas del ICIMAF han promovido el debate en los temas de las mujeres en la física y la matemática y las colegas de la Meteorología sistemáticamente organizan encuentros de las mujeres meteorólogas.

A manera de resumen podemos decir que, no obstante a que la mujer física en Cuba representa sólo una pequeña parte de la comunidad de físicos de la nación, ellas han jugado un importante papel en el desarrollo de esta disciplina en el país y han tenido una fuerte presencia en posiciones de liderazgo académico y científico que las distingue del resto de

muchas naciones en las que el rol de la mujer en el ámbito profesional se mantiene aún limitado.

## Agradecimientos

La autora quiere expresar su gratitud hacia todas aquellas personas que ofrecieron inapreciables informaciones, en particular, a la Lic. Odalys González Cruz, por varios años Secretaria Docente de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana; a las Dra. Elena Vigil y Dra. Lilliam Álvarez, dos importantes físicas cubanas, las cuales contribuyeron a mejorar este documento, tanto con informaciones útiles como con comentarios y observaciones. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a los editores de este volumen sobre la Historia de la Física en Cuba, por haberme dado la oportunidad de dar a conocer el papel de las mujeres en el ámbito científico en mi país y en particular en la Física.

## Referencias

- Alvarez, Lilliam, Aurora Pérez Martínez, and Magarita Cobas. 2002. Women doing hard sciences in the Caribbean. In *Women in physics: The IUPAP international conference*, ed. B. Hartline Melville: American Institute of Physics.
- Alvarez, Lilliam, Magarita Cobas, and Aurora Pérez. 2005. Cuban women in sciences: The physicists speak. In *Women in physics: 2nd IUPAP international conference on women in physics*, ed. B. Hartline. Melville: American Institute of Physics.
- Arias de Fuentes, Olimpia. 1993. La microelectrónica en Cuba . Paper read at Primer Taller sobre Historia de la Tecnología Eléctrica en Cuba, 26–28 January, La Habana, Cuba.
- Arias de Fuentes, Olimpia. 2001. La microelectrónica y el protagonismo de la mujer en esta rama en Cuba . Paper read at IV Taller Internacional “Mujeres en el siglo XXI”, 13–16 Noviembre, at Ciudad de la Habana.
- Arias de Fuentes, Olimpia. 2008. Mujeres Físicas y su presencia en la vida académica en Cuba: Algunas cifras y datos interesantes. In *VII Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Género* . La Habana, Cuba.
- Arias de Fuentes, Olimpia. 2009. Some interesting data about women physicists in Cuba. In *AIP conference proceedings* . Melville: American Institute of Physics.
- Arias de Fuentes, Olimpia, and Ofelia Martínez Morell (eds.). 1997. La Microelectrónica: Breve panorámica histórica sobre su desarrollo y estado actual en Cuba . In *100 Aniversario del Electrón* ed. A. Jerez Mendez. (UNED) Madrid: Lerko Print.
- Arias de Fuentes, Olimpia, Lilliam Alvarez, and Elena Vigil. 2009. Women physicists in Cuba. In *Women in physics: 3rd IUPAP international conference on women in physics*, ed. B. Hartline and R. Horton. Melville: American Institute of Physics.
- Baracca, Angelo, Victor Fajer, and Carlos Rodríguez. 2006. A look at physics in Cuba. *Physics Today* 59(9): 42–48.

- Fernández Rius, Lourdes. 2000. Mujeres académicas: ¿Conflictos de roles? In *Feminismo: Del pasado al presente*, ed. M.T. López de la Vieja, 156–159. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca.
- González Bermúdez, Fernando Mario. 2008. *Palabras de apertura de VII Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Género*. La Habana: Ministro en funciones de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- Ivie, Rachel, Roman Czujko, and Katie Store. 2002. Women physicists speak. In *Women in physics: The IUPAP international conference*, ed. B. Hartline. Melville: American Institute of Physics.
- Padilla, Maria Esther. 2007. Verdadero caudal humano. *Juventud Técnica* 335: 2–3.

## **13 La cooperación entre la Academia de la Ciencia de Berlín (DAW) y la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) (entre 1960 y 1975)**

**Helge Wendt<sup>1</sup>**

### **Primeros contactos entre las academias**

Poco después que la joven República de Cuba se constituyó, empezó la búsqueda en diferentes campos para encontrar nuevos socios. Uno de aquellos campos fue la cooperación internacional en la investigación y emprendiéndose distintas colaboraciones con institutos de investigación de la Unión Soviética, de la República Checoslovaca y China. La República Democrática de Alemania (RDA), y en especial la Academia Alemana de la Ciencia (Deutsche Akademie der Wissenschaften, DAW), se mostraron reacias a responder positivamente las solicitudes cubanas, a pesar de la colaboración política y socialista. Hubo algunas universidades de la Alemania del este que comenzaron al principio de los años sesenta de enviar investigadores y docentes a Cuba. Ahí participaron en escuelas de verano y enseñaron en las universidades. Además llevaron a cabo algo de investigación que sus institutos de origen les habían encomendado. Sin embargo la DAW observó atentamente la reconstitución de la Academia de Ciencias de La Habana, antes de decidirse a cooperar en proyectos científicos en común.

Comenzando los años sesenta eran pocos los miembros de la DAW que respaldaban el inicio de una cooperación extensa con instituciones cubanas. El problema fundamental era que la DAW sólo consideraba a las academias nacionales como contraparte para la cooperación en proyectos de investigación. La Academia de Ciencia de Cuba fue disuelta al triunfo de la Revolución y no es hasta 1962 que es reestablecida. Un segundo problema consistió en encontrar un área de investigación en la cual ambas partes estuviesen igualmente interesadas. Además, una conciencia altamente evolucionada se había desarrollado dentro de la academia berlinesa con respecto a los efectos neocoloniales de la cooperación científica, que ellos discretamente evitaron, respetando experiencias pasadas de la Isla.

---

<sup>1</sup> Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, Berlín, Alemania.

Los primeros contactos entre la comunidad científica cubana y la DAW se establecieron en febrero de 1962, cuando el presidente de la Universidad Humboldt de Berlín Oriental, Kurt Schröder, visitó Cuba. Esta visita se realizó un año antes de que la RDA y Cuba iniciaran relaciones diplomáticas oficiales.<sup>2</sup> La visita del presidente de la universidad profundizaba aún más las relaciones bilaterales entre los dos países que ya sostenían relaciones comerciales. En 1960 la RDA abrió una Misión diplomática en La Habana, que se convirtió dos años después en embajada.<sup>3</sup>

El Presidente Kurt Schröder se reunió con Núñez Jiménez, quién era el responsable de la reconstitución de la Academia de Ciencia de Cuba. Jiménez en esa ocasión expresó su deseo de entrar en contacto con el grupo de investigación Alexander von Humboldt de la DAW y planeó visitar la institución durante una gira que realizaría por Europa el año siguiente, 1963.<sup>4</sup> Poco después del triunfo de la Revolución ya se había realizado la cooperación entre diversas universidades alemanas y cubanas. Era en el año en que las relaciones bilaterales se oficializaron y la Academia de Cuba se refundó que la DAW comenzó a implicarse en un proceso hacia una colaboración.

En otoño del año 1962, el Secretario General de la DAW, Günther Rienäcker, escribió al Ministro de Ciencias y Tecnología, Herbert Weiz, que solamente se podía considerar una colaboración científica con Cuba cuando los intereses de cubanos quedaran claros.<sup>5</sup> Por tanto los representantes de la RDA esperaron por que los cubanos aclararan en qué asuntos necesitaban ayuda y cooperación. La parte alemana insistió también que se definiera el cuadro institucional bajo el cual se coordinaría una posible colaboración futura.

A principios del año 1963 se presentó una nueva situación: La República de Cuba le solicitó oficialmente a la DAW establecer un instituto conjunto de investigación en la isla. Le tocaba ahora a la DAW decidir que departamentos deberían formar parte de esta “aventura caribeña”. La parte cubana una propuso a la DAW la fundación de un instituto de investigación tropical en Cuba. Este instituto albergaría una amplia variedad de áreas de trabajo como: Geografía, Geología, Botánica, Oceanología, Meteorología, Zoología, Medicina Tropical, Historia e

---

<sup>2</sup> Ingrid Muth (2000). Die DDR-Außenpolitik 1949–1972. Inhalte, Strukturen, Mechanismen, Berlin: Links, p. 234.

<sup>3</sup> Muth 2000, p. 177 y 282.

<sup>4</sup> Mission der Deutschen Demokratischen Republik in der Republik Kuba. Havanna, 21.2.1962. Akademieleitung 1945–1968 515. The information given in the footnotes is taken from archive material found at the Archive of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences.

<sup>5</sup> Der Generalsekretär Berlin, 18. September 1962. Akademieleitung 1945–1968 515.

Historia de la Literatura. Los cubanos enviaron también a Berlín una extensa lista de instrumentos científicos que esperaban obtener de la DAW.

El Presidente de la DAW solicitó entonces a los diferentes departamentos del organismo consejos y propuestas para definir las áreas de investigación. Una primera proposición sugirió aprovechar las condiciones climatológicas de Cuba para someter a prueba a máquinas y material aislante de la RDA. Otra proposición quiso establecer un instituto de observación astronómica, que – como lo insinuó el escrito – era de provecho para ambas partes.<sup>6</sup> Una tercera propuesta consideraba el establecimiento de una unidad de investigación sísmica en Cuba para estudiar la actividad sismológica y probar los instrumentos fabricados en la RDA.<sup>7</sup>

En una fase siguiente la DAW quiso atraer instituciones aliadas de la RDA en la empresa cubana, suponiendo costes elevados en una colaboración trasatlántica que eran difíciles de portar solo. Uno de los socios fue el Instituto Alemán de Medidas y Ensayo de Materiales (Deutsches Amt für Meßwesen und Warenprüfung, DAMW). Su Director Helmut Lilie escribió al Secretario general de la DAW, expresando su interés en realizar ensayos de corrosión en Cuba.<sup>8</sup> En marzo del año 1963 la fundación del Instituto de Investigación Tropical se acercaba a ser una realidad y contaría con siete áreas de investigación bien definidas:

1. El establecimiento de una estación sísmica, guiada por el Instituto de Dinámica Terrestre de la Sismología de Jena.
2. Un laboratorio de investigación de biología marina.
3. Intercambio regular de información y experiencias en cuestiones de medicina tropical.
4. Investigación en temas de procesos morfológicos y geografía económica.
5. Colaboración en las áreas de la botánica y la zoología.
6. Apoyo en la escritura de la historia cultural cubana.

---

<sup>6</sup> Auszug aus dem Protokoll der Sitzung der Klasse für Mathematik, Physik und Technik vom 24. Januar 1963. Akademieleitung 1945–1968 515.

<sup>7</sup> Prof. Dr. O. Meißer (Sekretär der Klasse für Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie) an Gen-Sekr. Rienäcker, Berlin 6.3.1963. Akademieleitung 1945–1968 515.

<sup>8</sup> Dr. Habil Lilie, Deutsches Amt für Material- und Warenprüfung, Berlin 12.3.1963, an Rienäcker. Akademieleitung 1945–1968, 515.

7. Ensayos de corrosión y efectos climáticos, bajo condiciones tropicales, en productos y materiales procedentes de la RDA.<sup>9</sup>

El problema era que en Cuba la mayor parte de los posibles socios en aquellas áreas científicas se encontraban aun en su fase de establecimiento. Además, aquellos que eran capaces de realizar investigación científica ya estaban involucrados en proyectos de investigación bilaterales con institutos soviéticos, chinos, checoslovacos o húngaros.<sup>10</sup> Esos fueron los países que habían fundado institutos científicos en Cuba y emprendido colaboraciones con instituciones de investigación de la Isla antes que la DAW. Como fue mencionado anteriormente, el personal docente de las universidades de la RDA ya estaba trabajando en Cuba, pero la DAW no estaba lista, o no al menos políticamente, para aprovecharse de esas experiencias para establecer relaciones propias.<sup>11</sup>

### **El Instituto de Investigación Tropical en La Habana**

El primer acuerdo entre la DAW y la Academia de Ciencia de Cuba se firmó en junio de 1963. Ese acuerdo preveía la visita de una delegación de la Academia berlinesa para sondear las posibilidades de realizar investigaciones científicas en la Isla. Además también permitía a un número limitado de estudiantes cubanos pasar hasta un año en diferentes institutos científicos de la RDA.<sup>12</sup>

Sin embargo, en 1964 el proceso de fundación del instituto se ralentizó nuevamente a causa de que se estimaban gastos cercanos a un millón de marcos de la RDA para la instalación del instituto y otro millón para los gastos operativos del año 1964.<sup>13</sup> Otra razón que hizo tardar la fundación era que el Departamento de Química de la DAW propuso un nuevo tema de investigación. El responsable era el Dr. Horst Sinnecker, su director. En ese momento la DAW agradeció la nueva propuesta, debido a que al lado cubano se quejaba de algunos de las áreas de investigación propuestas. La Comisión Nacional anhelaba que se realizara más de una investigación fundamental y que se relacionaran directamente con aplicaciones prácticas

---

<sup>9</sup> Bisherige Vorstellungen zur Zusammenarbeit mit der Akademie der Wissenschaften der Rep. Kuba, Berlin, 22.3.1963. Akademieleitung 1945–1968 515.

<sup>10</sup> Langer, Kulturabteilung der Botschaft der DDR, Havanna, 26.2.1965. Bestand Klassen.208.

<sup>11</sup> Protokoll der Sitzung der Kommission zur Vorbereitung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit der Akademie der Wissenschaften der Republik Kuba am 9. April 1963. Akademieleitung 1945–1968 515.

<sup>12</sup> Übereinkommen über die wissenschaftliche Zusammenarbeit der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und der Nationalen Kommission für die Akademie der Wissenschaften der Republik Kuba, 7.6.1963. Akademieleitung 1945–1968.515.

<sup>13</sup> Zur Entstehungsgeschichte des Tropenforschungsinstituts, 3.6.1964. AKL.1945–1968.515.

y económicas. En ese sentido la propuesta de Sinnecker contuvo aspectos nuevos y presentó un programa de investigación química acerca de lateritas.<sup>14</sup> Las lateritas son sedimentos secundarios, ricos en níquel, y tanto Sinnecker como los socios cubanos los consideraron tener cierta importancia económica.<sup>15</sup> Sinnecker era un hombre experimentado en aquella área de química inorgánica. En los años cincuenta trabajó con cloruro de uranio (Sinnecker 1960) y después comenzó a trabajar con lateritas. Durante su estancia en Cuba Sinnecker publicó por lo menos dos artículos sobre ese tema (Sinnecker 1968 y 1969) y además escribió una segunda tesis de doctorado que se publicó en 1972 (Sinnecker 1972).

Horst Sinnecker empezó su cargo de director del Instituto de Investigaciones Tropicales el 1 de febrero de 1966. Sin embargo, aún en enero del mismo año se discutía la cuestión de dónde debería ser instalado ese instituto, o por lo menos los berlineses estaban confundidos al respecto. El Secretario general de la DAW, Rienäcker, en una carta dirigida al Vicepresidente de la DAMW, explicaba que la parte cubana deseaba instalar el nuevo instituto en Santiago de Cuba. Eso tenía mucho sentido desde el punto de vista del objeto principal que defendía el instituto, ya que los depósitos de lateritas se encontraban en esa región minera. Rienäcker a su vez defendía la idea de que el instituto se tendría que ubicar en La Habana por razones de comunicación con la RDA.<sup>16</sup> Además, subrayó que a esa avanzada altura de la planificación del proyecto todo cambio se impedía, incluido una retirada parcial y unilateral de la parte alemana.

Como era previsto el instituto empezó de trabajar en 1966 y dentro de poco fue sujeto a fuertes críticas. En 1967 se comenzaron a revisar profundamente todas las estructuras y formas de organización de la Academia de Berlín para que en lo adelante se pudiera emprender una reforma del organismo científico. Dentro de esa revisión fue criticada abiertamente la implicación con Cuba dentro de los gremios directivos de la Academia a causa de que la dirección del instituto había sido distribuida entre las tres instituciones participantes: la DAW, la DAMW y la Academia de Agricultura de la RDA. Para colmo,

---

<sup>14</sup> Sinnecker, Themenvorschlag für die Bearbeitung im Stützpunkt der DAW bei der Kubanischen Akademie der Wissenschaften in Havanna: Untersuchungen zur Analytik und Aufbereitung kubanischer Laterite, 5.1.1965. Bestand Klassen 208.

Rienäcker an Liers (Vizepräsident des Deutschen Amtes für Meßwesen und Warenprüfung, Berlin 6.1.1966. Akademieleitung 1945–1968 515.

<sup>15</sup> Sinnecker, Themenvorschlag für die Bearbeitung im Stützpunkt der DAW bei der Kubanischen Akademie der Wissenschaften in Havanna: Untersuchungen zur Analytik und Aufbereitung kubanischer Laterite, 5.1.1965. Bestand Klassen 208.

<sup>16</sup> Rienäcker an Liers (Vizeprä des Deutschen Amtes für Meßwesen und Warenprüfung, Berlin 6.1.1966. AKL.1945–1968.515.

Sinnecker había pedido desde que su llegada a La Habana un laboratorio químico entero que lo hizo encargar desde Rostock por barco. La embarcación sobrepasó por mucho lo previsto y condujo al Secretario general que pusiera un fin a toda adquisición realizada por el instituto habanero.

Con el fin de afrontar el primero de los dos problemas, se fundó una comisión en la cual participaban los tres organismos científicos y además el Ministerio de Ciencias y Tecnología. Ese último se negó de renegociar el rol de los participantes, sin explicar las causas de su decisión. El resultado de las negociaciones en Berlín era que Sinnecker tuvo que abandonar su puesto en La Habana y retornar en 1969 a Alemania. Entonces, él se hizo con la dirección del Instituto de Química Inorgánica y mantuvo su afiliación con la Academia hasta 1974. Se ignora la suerte del laboratorio y de los instrumentos que Sinnecker compró.

### **Otras cooperaciones bilaterales de la DAW**

La cooperación con Cuba era el compromiso bilateral más importante que la Academia de Berlín había acordado con un país que no era miembro del Pacto de Varsovia, pero no era el único. Ella había convenido con la India un proyecto común, tras la participación de una delegación de la RDA en 1965 en la conferencia anual del Consejo de Investigación Científica e Industrial (Council of Scientific and Industrial Research, CSIR) de la India. El acuerdo preveía un intercambio de científicos. Menos importante eran acuerdos que en los años sesenta la DAW mantenía con países como Sudan, Ghana e Irak.<sup>17</sup> La colaboración especial con la Academia cubana no se podía explicar entonces sólo tomando en cuenta el margen del Consejo de Asistencia Económica Mutua (CAME). Este marco de colaboración permitía que los estados miembros acordaran tratados de cooperación bilaterales o multilaterales para la realización de proyectos de investigación comunes. Entre las cooperaciones bilaterales que la DAW mantuvo con los miembros del CAME, están las realizadas con instituciones de la Unión Soviética, sobrepasando por mucho las sostenidas con otros países, como lo demuestra un listado del año 1970.

La cooperación científica internacional con instituciones científicas de la USSR y de otros países socialistas fue crucial para la evolución del potencial científico de la DAW. La importancia de las cooperaciones de investigación internacionales con aquellos países creció

---

<sup>17</sup> Übersicht über die Beziehungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin zu Nationalstaaten in Asien und Afrika (Stand 10.3.1965). AKL.1949–1968.433.

de manera regular. Por esa razón, el desarrollo óptimo y la configuración de esas cooperaciones de investigación eran el centro y la tarea central de las relaciones internacionales de la DAW.<sup>18</sup>

Después de las reformas organizativas internas de la DAW durante los años 1968 y 1969, que condujeron un cambio de nombre, fueron revisadas también las relaciones y cooperaciones internacionales. El objetivo era que la producción de resultados de investigación fuese aumentando. Una nueva estructura de organización preveía el cumplimiento de ese objetivo y la dirección creó agrupaciones de investigación que comprendieran varios institutos y departamentos de la DAW. Un resultado esperado era también el de fomentar la cooperación entre institutos y departamentos. La reforma hizo que los proyectos científicos internacionales fueran reunidos en complejos de trabajo, departamentos de investigación o en centros de investigación. Cada uno de esos organismos tenía su propio director que debía reportar regularmente al Presidente, al Partido y al gobierno.<sup>19</sup>

## **Las cooperaciones multilaterales en el cuadro del CAME**

Cuba comenzó a entrar en los gremios de cooperación científica internacional del CAME a partir de 1962. En los archivos se encuentra una delegación cubana participando en los encuentros de la Oficina para las relaciones internacionales de la Academies de países socialistas entre los años 1962 y 1965. La participación significaba un estado inferior comparando con el estado de observadores que tenían las Academies de China, Corea del Norte y Vietnam, que como Cuba no eran miembros del CAME.<sup>20</sup> Cuba fue aceptada como miembro en 1972, razón por la cual Cuba participaba en muy pocas reuniones durante la década de los años sesenta. Al finalizar marzo de 1963 la Segunda Conferencia de Academies de Ciencia de países socialistas se celebró en Berlín, Cuba, China y Corea del Norte no habían

---

<sup>18</sup> Arbeitsprogramm der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin zur Durchsetzung der Beschlüsse des Politbüros des ZK der SED, des Staatsrates und des Ministerrates der DDR zur Gestaltung der sozialistischen Wissenschaftsorganisation der DAW (1970). Akademieleitung 1969–1991 154.

<sup>19</sup> Konzeption zur Gestaltung der internationalen Forschungskoperation und sonstigen Beziehungen zum Ausland als Bestandteil der Wissenschaftsorganisation der DAW, Entwurf, Berlin, den 21.8.1970. Akademieleitung 1969–1991 154.

<sup>20</sup> Bericht über die Arbeitssitzung der Leiter der Auslandsabteilungen der Akademien der Wissenschaften sozialistischer Länder vom 29. Nov. bis 1. Dez. 1962 in Prag/CSSR; in Balaton-Szabadi vom 10.–13. Sept. 1963 and Information für das geschäftsführende Präsidium über die 3. Arbeitssitzung der Leiter der Auslandsabteilungen der Akademien der Wissenschaften sozialistischer Länder vom 6.–9. Juli 1965 in Bukarest und über den Stand der Vorbereitung der IV. Konferenz der Akademien der Wissenschaften sozialistischer Länder im Dezember 1965 in Moskau. Akademieleitung 1949–1968 433.

sido invitados. A parte de los países socialistas europeos, participaban a su vez también Vietnam y Mongolia. La motivación de limitar el número de participantes era:

No se han invitado instituciones científicas de otros países socialistas por la motivación de que en el presente estadio de desarrollo de la colaboración obliga a invitar a participar en la Conferencia solamente aquellos países, que ya fueron invitados a la I Conferencia.<sup>21</sup>

Igualmente no hubo participación de ninguna delegación cubana en la tercera de esas conferencias de Academias que se celebró en abril 1964 en Sofía. Sin embargo, en ese mismo año se firmó un acuerdo sobre la participación de Cuba en la comisión dirigida por la URSS “Historia de la gran Revolución Socialista de Octubre”. Ese acuerdo marca la primera participación oficial de Cuba en una actividad científica del CAME.<sup>22</sup>

### **Las cooperaciones de ambas Academias en los años 1970**

Volviendo al tema de la cooperación bilateral de la Academies de La Habana y de Berlín, en 1970 más proyectos comunes que solamente el Instituto tropical se habían realizado. Un balance del Departamento de Cosmología del Departamento de Geociencia de la DAW del año 1971 se refiere a varios proyectos bilaterales con Cuba. El Instituto geográfico mantenía un programa de investigación que durante cinco años se estudiaba economía territorial y geoecología.<sup>23</sup> El Instituto central de física terrestre encabezaba un programa de sismología en Cuba. Otra colaboración se había desarrollado en el área de la oceanología, comprendiendo sobre todo un intercambio de investigadores durante los años 1974 y 1975.<sup>24</sup> En los años setenta Cuba comenzó a involucrarse más y más en proyectos multilaterales del CAME, como era el programa Intercosmos. El CAME, a su vez, no era la institución en la cual la RDA y Cuba buscaban cooperaciones bilaterales a diferencia a otros países.

En 1976 una delegación de la DAW, encabezada por su Secretario general Claus Grote visitó Cuba y dio testimonio que las cooperaciones bilaterales estaban vigente. Los tres objetivos de la visita eran:

---

<sup>21</sup> II Konferenz der Akademien der Wissenschaften sozialistischer Länder vom 24.3.-1.4. 1963 in Berlin. Akademieleitung 1949–1968 434.

<sup>22</sup> Problemkommission, Geschichte der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution“. Akademieleitung 1949–1968 435.

<sup>23</sup> Bericht über die Jahre 1971–1975 des FOB Geo- und Kosmoswissenschaften 221.

<sup>24</sup> FOB Geo- und Kosmoswissenschaften 221.

1. Primero, firmar un acuerdo sobre cooperaciones entre las Academias para los años desde 1976 hasta 1980.
2. Segundo, Grote y sus colegas participaron en la inauguración de los “Días de tecnología de la RDA y de Cuba”.
3. Tercero, conmemorar el décimo aniversario de la fundación del Instituto de Investigaciones Tropicales, que ahora se denominaba “Instituto para las bases de agricultura tropical” en La Habana.

La delegación visitó varios institutos en Cuba, tal como él de ciencias nucleares, geofísica, astronomía y química. Grote tenía un interés especial en el instituto de ciencia nuclear. La Academia de Ciencias de Cuba, en cooperación con la URSS, intentaba copiar el instituto de investigación nuclear de Rossendorf, cerca de Dresde. En ese sentido Grote ofreció la ayuda de la Academia de Berlín.<sup>25</sup> El Secretario general intentó de elaborar un programa de investigación nuclear común hasta finales del año. Además su intención era de aumentar las colaboraciones científicas incluyendo la sismología y la física de la ionosfera alta.<sup>26</sup>

La presente recapitulación sobre la cooperación de las Academias de Ciencias de Berlín y de La Habana, muestra que la RDA comenzó su cooperación en la investigación fundamental después que otros países socialistas. Algunos de los proyectos comunes no tuvieron el éxito esperado, como fue el caso del Instituto de Investigaciones Tropicales. Para otros proyectos se tendrá que examinar los estudios publicados para decidir sobre su éxito. Una investigación más profunda es necesaria para ampliar la imagen de las colaboraciones científicas bilaterales, así como sus historias en la década de los ochenta. Además vale la pena de estudiar las colaboraciones multilaterales de Cuba en el CAME. Finalmente hace falta un estudio sobre las colaboraciones entre universidades de la RDA y Cuba, que no sólo comenzaron más tempranamente, sino que contenían un intercambio de estudiantes y docentes.

---

<sup>25</sup> Grote, Bericht der Delegation der DDR über den Aufenthalt in der Republik Kuba zu Fragen der Zusammenarbeit auf dem Gebiet von Wissenschaft und Technik in der Zeit vom 20.10.1976 bis 31.10.1976. FOB Geo- und Kosmoswissenschaften 221.

<sup>26</sup> Grote, Bericht der Delegation der DDR über den Aufenthalt in der Republik Kuba zu Fragen der Zusammenarbeit auf dem Gebiet von Wissenschaft und Technik in der Zeit vom 20.10.1976 bis 31.10.1976. FOB Geo- und Kosmoswissenschaften 221

## Referencias

- Muth, I. 2000. *Die DDR-Außenpolitik 1949–1972. Inhalte, Strukturen, Mechanismen*. Berlin: Links.
- Scholtyssek, J. 2003. *Die Außenpolitik der DDR*. München: Oldenbourg.
- Sinnecker, H. 1960. *Zur Kenntnis der Chemie einiger Uranchloride*. PhD Thesis, Halle (Saale).
- Sinnecker, H. 1968. *Sobre el componente manganeso-cobalto-niquel en las lateritas*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Investigaciones Tropicales.
- Sinnecker, H. 1969. *Acerca de la influencia del componente manganeso-niquel-cobalto de la laterita sobre las propiedades de sedimentación de ésta*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Investigaciones Tropicales.
- Sinnecker, H. 1972. *Zur Chemie der Nickelextraktion nach M.H. Caron*. PhD Thesis, Berlin: DAW.

# 14 La Física cubana contemporánea a través de las publicaciones científicas: una mirada desde adentro

Ernesto Altshuler Álvarez<sup>1</sup>

## Resumen

En un artículo publicado en la Revista Cubana de Física, el autor arribó a algunas conclusiones sobre las tendencias de las publicaciones realizadas por físicos cubanos en revistas internacionales (Altshuler 2005) y enfatizaba la necesidad de realizar un estudio bibliométrico sistemático sobre el asunto. Este estudio se publicó posteriormente (Max y Cardona 2014), y básicamente corrobora las conclusiones fundamentales en nuestro trabajo previo. El escenario de la Física cubana desde 1995 ha estado condicionado por dos factores que interactúan de modo no trivial: las serias carencias materiales y el incremento en la colaboración internacional. Como resultado positivo, el número total de publicaciones cubanas en revistas internacionales de Física se ha incrementado desde 1995, quizás alcanzando un pico cerca del año 2000, mientras que el número de citas de artículos cubanos y el impacto de las revistas en las que estos han sido publicados, continúan en ascenso desde la mitad de los años 90 del pasado siglo. El trabajo teórico producido por físicos afincados en un número limitado de instituciones cubanas ha contribuido de forma notable a estos resultados. En los últimos años, las publicaciones internacionales sugieren una apertura “auto-organizada” de la Física cubana hacia temas inter-disciplinarios, lo que ha contribuido a aumentar la “visibilidad bibliométrica” del trabajo experimental autóctono. Aunque este artículo comprende estadísticas anteriores al 2005, creemos que las conclusiones básicas son extensibles hasta el presente, aunque necesariamente están moduladas por la hoy sistemática emigración de jóvenes físicos y físicas cubanas hacia el exterior.

## Introducción

La comunidad física cubana es relativamente pequeña, pero se toma muy en serio la publicación de su trabajo científico en revistas internacionales. Este hecho se puede ilustrar bien observando que los físicos han ganado cerca de un tercio de los premios al Mejor

---

<sup>1</sup> Facultad de Física, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

Artículo Científico otorgados por la Universidad de La Habana desde 1993 hasta 2007 para todas las ciencias naturales y exactas. Numéricamente, sin embargo, la Física representa la más pequeña comunidad científica de la Universidad de La Habana, si se le compara con las de los matemáticos, químicos, biólogos, geógrafos, etc.<sup>2</sup>

En un artículo sobre el impacto de la física cubana basado en las publicaciones internacionales publicado en la Revista Cubana de Física (Altshuler 2005), el autor dejó claro que no pretendía realizar una investigación bibliométrica exhaustiva sobre el tema, y que “sería excelente que un verdadero experto realizara un estudio definitivo, que seguramente contribuiría a la evaluación del impacto internacional de la Física cubana y sus perspectivas a corto y mediano plazos”. Un estudio de ese tipo fue, afortunadamente, realizado por los alemanes Marx y Cardona algún tiempo después (Marx y Cardona 2014). Nuestro propósito es, pues, ofrecer aquí algunos datos complementarios y nuevos elementos desde la perspectiva de un profesional que ha hecho Física prácticamente toda su vida en Cuba.

## **Producción e impacto de los artículos cubanos de Física hasta los comienzos del siglo XXI**

Desde los primeros años 60 del pasado siglo, la política cubana para la evaluación del trabajo científico siempre enfatizó la “introducción en la práctica social” de los resultados científicos mucho más que su publicación. Sin embargo, en 1978, la Comisión Nacional para los Grados Científicos (CNGC), creada un año antes, estableció un mínimo de dos artículos publicados en revistas arbitradas como requerimiento para completar un doctorado en Cuba. En 1986, con la creación de los Tribunales Permanentes para la defensa de doctorados, se puso aún más énfasis en la calidad de las revistas en las cuales estos artículos serían publicados. No pasó mucho tiempo antes de que el Tribunal Permanente de Física estableciera un standard de tres artículos en revistas sometidas a arbitraje como pre-requisito para defender una tesis de doctorado.<sup>3</sup>

Los requerimientos arriba descritos resultaron esenciales para superar la baja tasa de publicaciones de muchos científicos cubanos, pero ésta se mantuvo a un nivel modesto hasta

---

<sup>2</sup> Después de buscar en los Archivos del Consejo Científico de la Universidad de La Habana, el autor pudo obtener información de todos los años desde el 1993 hasta el 2007, con la excepción del 2001. Cada año, compitió un total de 14 artículos en promedio, provenientes de todas las áreas de la Universidad. Profesionales de la Física ganaron 9 de un total de 30 premios otorgados –incluyendo dos artículos escritos por físicos, pero que se movían en los terrenos de la química farmacéutica y de la biología cuantitativa.

<sup>3</sup> Comunicación personal del Dr. C. Peniche, Secretario de la Comisión Nacional de Grados Científicos.

la segunda mitad de los años 90 del pasado siglo, cuando tuvo lugar una aceleración sustancial. La crisis económica de esos años (que alcanzó su máxima tensión en los años 1993-94) impulsó el intercambio de científicos cubanos con sus homólogos del “occidente”. En el nuevo escenario, la famosa frase “publicar o perecer” se hizo tangible para muchos científicos cubanos de visita en instituciones extranjeras. Si bien es cierto que un pequeño pelotón de físicos cubanos siempre había publicado sistemáticamente en revistas de prestigio desde los años 70 del pasado siglo, sólo hacia la segunda mitad de los 1990’s fue que un grupo grande de profesionales cubanos “descubrieron” el mundo de las publicaciones en revistas internacionales. En ese proceso, aprendieron cómo presentar sus resultados científicos de forma atractiva, qué revistas eran las más adecuadas para publicar un resultado específico, el arte de discutir con árbitros y editores, y la imperiosa necesidad de dominar –al menos– el inglés “técnico”. Algunos, incluso, tuvieron que lidiar con asuntos no triviales dentro de la ética de las publicaciones científicas, como quién debe aparecer en la lista de autores y quién sólo en los agradecimientos... y si el mero hecho de haber provisto los recursos para la investigación debe modular o no las decisiones correspondientes.

Con este telón de fondo, se creó en la Universidad de La Habana el Premio al Mejor Artículo científico en 1993, como se ha dicho antes. En el caso de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, se estableció una rigurosa política a favor de la excelencia en las publicaciones como requisito para los cambios de categorías docentes.

Estos elementos aumentaron sensiblemente el volumen de las publicaciones de Física, como se muestra en la Figura 1 de la referencia (Marx y Cardona 2014), que es un gráfico de artículos/año versus año con, al menos, un autor afincado en Cuba, usando las bases de datos SCI e INSPEC. El gráfico muestra un modesto incremento desde 1975 hasta 1994, con una pendiente de 1-2 artículos/año<sup>2</sup>, que se incrementa dramáticamente hasta unos 10.5 artículos/año<sup>2</sup> de 1995 a 2000. Entonces, el número decrece con una pendiente aproximada de -2.5 artículos/año<sup>2</sup> según SCI, o se mantiene creciendo más allá del año 2000, si nos basamos en los datos extraídos del INSPEC.<sup>4</sup> Aun así, los aproximadamente 70 artículos/año producidos en 2008 (según SCI) resultan más del doble de la producción de 15 años antes calculada usando la misma base de datos Marx y Cardona sugieren que el posible decremento (o saturación) después del 2000 está conectado a la fuga de cerebros. Un hecho importante

---

<sup>4</sup> Nuestro análisis previo (Altshuler 2005) usando las base de datos de la APS sugiere una saturación después del año 2000.

que sustenta esta opinión es que una cantidad sustancial de jóvenes físicos cubanos que en los tempranos años 90 del pasado siglo partieron hacia México, Brasil, España, etc., a realizar estudios de postgrado, se mantuvieron en el extranjero al término de sus estudios hacia fines de la década.<sup>5</sup> Si bien es cierto que el drenaje de cerebros es un elemento fundamental a considerar en la época de referencia, en el problema intervienen otros factores: muchos artículos de Física cubanos dependen fuertemente la colaboración extranjera, mientras que el número de meses/año que pasan los físicos cubanos en el extranjero posiblemente disminuyó en los años posteriores al 2000, aunque, desafortunadamente, resulta difícil acceder a datos confiables al respecto. Vale la pena aclarar que las visitas largas de físicos cubanos a instituciones extranjeras tienden a beneficiar su productividad científica no sólo por ponerse en contacto con equipamiento avanzado y ambientes científicos de primer nivel, sino porque simplemente le pueden dedicar más tiempo al trabajo, al dejar en casa los deberes docentes, administrativos, y la no trivial carga del “día-a-día” de la vida en Cuba.

Otro factor que pudiera haber erosionado hasta cierto punto la producción de publicaciones después del 2000, es el continuo incremento de la calidad de los artículos producidos por físicos cubanos: “de lo bueno, poco”, como diría el refrán. En la Figura 2 de la referencia (Marx y Cardona 2014) se aprecia un notable incremento en el número de citas de los artículos cubanos a partir de 1995: mientras que la pendiente entre 1985 y 1995 es de aproximadamente 10 artículos citados/año<sup>2</sup>, la pendiente se aproxima a los 70 artículos citados/año<sup>2</sup> en el período 1996–2008. Habíamos predicho una tendencia parecida en nuestro artículo previo (Altshuler 2005) usando una aproximación diferente: si bien el número de citas es la indicación más clara del impacto de un artículo individual en la comunidad científica, hay otros elementos que influyen la visibilidad de los artículos científicos, como la naturaleza y el factor de impacto de la revista donde estos sean publicados.

La Figura 1 muestra la evolución del “impacto total” de las publicaciones cubanas en revistas de la APS en el período 1994–2004, calculado como:

$$I_T = \sum_{i=1}^N I_i$$

---

<sup>5</sup> Hoy día, lamentablemente, observamos el drenaje de cerebros en Física incluso antes de comenzar los estudios de postgrado: cada vez es más común que estudiantes de alto nivel soliciten la baja en medio de la carrera para continuar estudios en otras latitudes.

donde  $N$  es el número total de artículos publicados durante un año dado, e  $I_i$  es el factor de impacto promedio (Popescu 2002) de la revista donde el artículo  $i$  fue publicado.

Se observa un incremento sistemático del impacto total de las publicaciones cubanas en las revistas examinadas a partir de 1996. Si ajustamos una línea recta a los datos correspondientes al período 1996-2004, la pendiente es aproximadamente de 6 unidades de impacto por año<sup>2</sup>. Tal y como se mencionó antes, este hecho se puede interpretar como un incremento en la calidad (o, al menos, de la visibilidad) de la Física cubana desde mediados de los años 90 del pasado siglo.

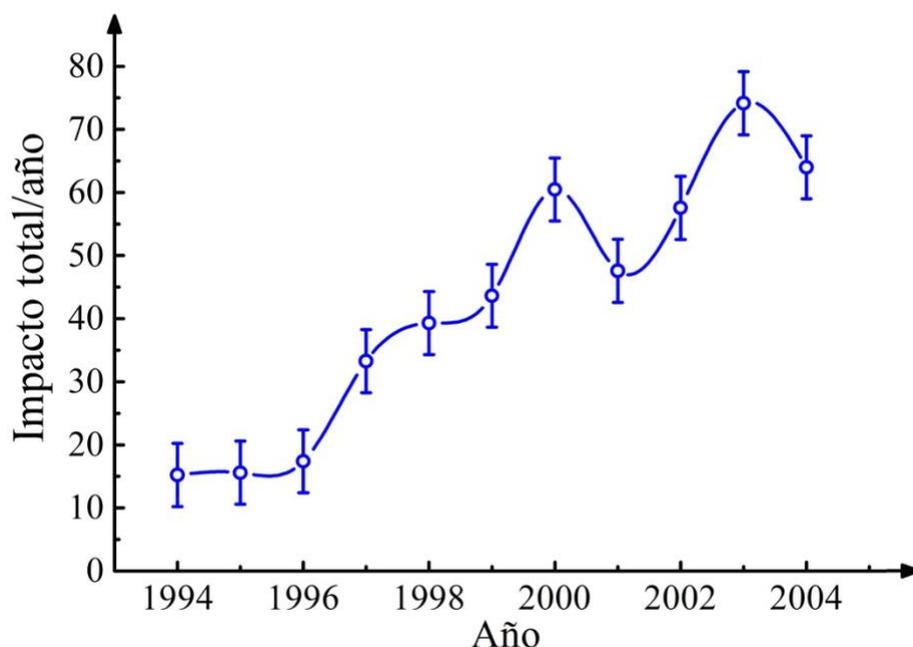
### **La Física cubana altamente citada es notablemente especializada, está muy concentrada, es mayormente teórica, y resulta de la colaboración internacional**

La gran mayoría de los artículos cubanos más citados en el campo de la Física están dentro del campo del Estado Sólido (o de la Ciencia de Materiales) –lo cual constituye una fortaleza histórica y también una debilidad de la Física cubana. Este hecho está bien documentado en la Tabla 4 de la referencia (Marx y Cardona 2014) donde los artículos cubanos se clasifican dentro de ciertos subcampos, utilizando la base de datos SCI: el subcampo materia condensada + ciencia de materiales contribuye a más del 60 % del total de publicaciones (y el 25 % atribuido a física aplicada seguramente contiene mucho trabajo relacionado con la Ciencia de Materiales). No sorprende el hecho de que la mayor parte de los artículos cubanos en esa estadística hayan sido publicados en Physical Review B<sup>6</sup> y que una contribución sustancial haya aparecido en revistas como Physica Status Solidi, JMMM, y otras especializadas en física del estado sólido.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Ver, por ejemplo, la Tabla 6 en (Marx y Cardona 2014).

<sup>7</sup> Ver Tabla 3 en (Marx y Cardona, 2014).



**Figura 1:** “Impacto total” de las publicaciones realizadas por físicos de instituciones cubanas en el período 1994 – 2004, calculado según fórmula descrita en el texto, utilizando información de las bases de datos de la APS y de la AIP. La línea continua es sólo una guía para el ojo.

Las estadísticas muestran que los autores de artículos de Física basados en Cuba están altamente concentrados en unos cuantos centros localizados en La Habana. La Tabla 5 de Marx y Cardona muestra claramente este hecho: aproximadamente el 65 % de los artículos de Física publicados por autores afincados en Cuba se producen en la Universidad de La Habana (incluyendo personal del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, IMRE), 9 % corresponde al Instituto de Matemática, Cibernética y Física (ICIMAF), 5.5 % a la Universidad de Oriente, 5 % al Instituto Superior de Ciencia y Tecnología Aplicadas (Instec)<sup>8</sup>, y cerca de un 3 % al CEADEN<sup>9</sup>. Con la única excepción de la Universidad de Oriente, el resto de los centros están localizados en La Habana –una conclusión que este autor subrayaba en su artículo previo, a nivel cualitativo (Altshuler 2005). Tal situación no sólo se debe a la concentración de recursos para la investigación en La Habana, sino también a la “drenaje interno” de cerebros desde otras provincias hacia La Habana, especialmente en las primeras etapas de los estudios de postgrado.<sup>10</sup> Curiosamente, el segundo polo en importancia

<sup>8</sup> A partir del año 2017, esta institución ha pasado a formar parte de la Universidad de La Habana.

<sup>9</sup> En la actualidad, la contribución del CEADEN ha de tener algo más de peso, sobre todo debido a una colaboración con el proyecto multinacional ALICE, como mencionaremos más adelante.

<sup>10</sup> Esta tendencia, sin embargo, probablemente ha estado disminuyendo en el último quinquenio: tal y como ocurre en La Habana, los graduados de las provincias orientales también tienden a realizar sus estudios de postgrado en el extranjero... sin pasar antes por la capital.

para la Física en Cuba podría haberse establecido en la “Ciudad Nuclear” localizado en el centro del país (Cienfuegos), pero este proyecto quedó abortado poco después de la desintegración de la Unión Soviética. Incluso dentro de la Universidad de La Habana, los físicos más citados se concentran en un pequeño grupo de autores, tal y como se puede deducir de la Tabla 6 de la referencia (Marx y Cardona 2014) (la lista de los 10 artículos más citados cuyos autores son físicos afincados en Cuba en el momento de compilar los datos). Desde nuestro punto de vista, esos niveles de concentración geográfica e individual constituyen una gran debilidad de la Física cubana contemporánea.

La Física Teórica domina ampliamente el conjunto de publicaciones más citadas en la Física cubana. Si examinamos la Tabla 6 en (Marx y Cardona 2014), alrededor de la mitad de los artículos son puramente teóricos, y el resto está conectado con trabajo experimental realizado fuera de Cuba. Como en muchos países en desarrollo, una fracción no despreciable de los estudiantes más capaces escoge la Física Teórica, entre otras cosas, para no depender de la infraestructura experimental. Esto resulta en una concentración de talento entre los teóricos. En general, la falta de infraestructura material hace muy difícil producir trabajo experimental de alto impacto en Cuba. Esto es especialmente cierto en el campo de la Física Nuclear, pero ciertamente afecta a todas las ramas de la Física. Por ejemplo, es hoy costumbre que los científicos cubanos que trabajan en el campo de la ciencia de materiales, lleven sistemáticamente sus muestras a facilidades experimentales foráneas para caracterizar su estructura y otras propiedades físicas. La fabricación de materiales de avanzada –incluyendo nanomateriales– es también extremadamente difícil en laboratorios cubanos (un simple apagón de 10 minutos –tan común en nuestras instalaciones– puede malograr un proceso de síntesis). Algunos experimentalistas han logrado realizar Ciencia de Materiales avanzada usando creativamente equipamiento de bajo costo (por ejemplo, aplicando métodos químicos para la fabricación de materiales nano-estructurados). Otra variante ha sido la de moverse hacia el mundo de los Sistemas Complejos, donde el equipamiento costoso no es el standard internacional. Sin embargo, no pocos experimentalistas se han convertido en teóricos (especialmente en el campo de las simulaciones computacionales) –una suerte de “hibernación” mientras esperan por el mejoramiento del escenario experimental.

Una última característica que comparten muchos de los artículos cubanos en el campo de la Física –particularmente aquellos muy citados o publicados en revistas de alto impacto– es la alta proporción de co-autores extranjeros. Si volvemos a los artículos más citados (Tabla 6 de

Marx y Cardona), observamos que ninguno está firmado exclusivamente por físicos cubanos. Podría decirse que una buena parte de estos artículos ha sido el resultado de las contribuciones de físicos cubanos a líneas de investigación ya existentes en instituciones foráneas. Esto demuestra el talento, la adaptabilidad y la capacidad para trabajar duro de los visitantes cubanos, pero también constituye una debilidad de la Física basada en Cuba.

Vale la pena echar un vistazo a la contribución cubana en revistas más generales dentro de la Física, pues estas generalmente gozan de una audiencia mayor, y tienden a impulsar las interacciones inter-disciplinarias. Según datos tomados en diciembre de 2009, los artículos cubanos en tales revistas son muy escasos: del orden de la veintena en *Physical Review Letters*, y sólo uno en *Reviews of Modern Physics*.<sup>11</sup> Hasta la fecha de escritura de este artículo, las contribuciones de físicos afincados en instituciones cubanas en revistas de muy amplio espectro como *Nature* son inexistentes o extraordinariamente raras.

Concentrémonos en el análisis más detallado de los artículos cubanos en *Physical Review Letters*. Ante todo, debe observarse que la mayoría de estos artículos no están dentro de los 10 más citados. Esto se debe, en parte, a que una notable fracción de ellos se ha publicado recientemente (13 después del año 2000). Contrariamente a lo que ocurre con los artículos más citados, en este caso sólo 3 de los 18 artículos están conectados a temas de la Física del Estado Sólido, lo que puede, de paso, sugerir que está ocurriendo un proceso de reorientación (o, al menos, diversificación) de la Física cubana. Por otro lado, 6 de los 18 artículos contiene resultados experimentales –una proporción muy superior al caso de los artículos más citados. Curiosamente, una notable fracción de los experimentos involucrados fue realizada en Cuba.

Una medida adicional del impacto de la ciencia en la sociedad es la reseña de artículos científicos por revistas de divulgación. En los últimos años, cierto número de artículos generados por físicos cubanos se ha reseñado en importantes revistas como *American Scientist*, *Discover* y *Physics Today*.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Estos datos se pueden consultar entrando la palabra clave “Cuba” en el campo “affiliation” del motor de búsqueda gratuita de *Physical Review Online Archive* (PROLA), <http://prola.aps.org>. Una búsqueda realizada el 4 de julio de 2018 muestra 54 artículos en *Physical Review Letters*. Curiosamente, cerca de una treintena de ellos son colaboraciones ALICE dentro de la Física Nuclear, donde típicamente participa un centenar de autores de docenas de países.

<sup>12</sup> Ver, por ejemplo, (Hayes 2003), (Ruvinsky 2004) y (Feder 2018).

## **¿Es particularmente difícil para los físicos cubanos publicar en revistas internacionales?**

Aparte de las dificultades que naturalmente emergen de la falta de recursos —o recursos pobremente administrados—incluyendo una conexión a internet relativamente lenta y limitada por cuotas— diríamos que los físicos cubanos, generalmente, enfrentan las mismas condiciones para publicar que el resto del mundo.<sup>13</sup>

Hasta donde sabemos, solo en una ocasión la política ha influido el curso de un artículo enviado por autores cubanos a revistas internacionales durante los últimos decenios. Ello ocurrió en febrero de 2004, cuando una “reinterpretación” de las leyes de embargo (o bloqueo) norteamericano potencialmente afectaría a ciertos países (Cuba entre ellos). Se decía que los manuscritos enviados a revistas norteamericanas desde los países afectados no podrían ser sometidos a ningún tipo de proceso editorial. Por ejemplo, un artículo enviado por un autor iraní no podría ser corregido en cuanto a gramática u ortografía por un editor de la revista en cuestión. En la práctica, esto significaba el congelamiento de cualquier artículo firmado por físicos de los países embargados. De hecho, al menos un manuscrito cubano fue congelado en pleno proceso editorial por algún tiempo. Siendo un obvio atentado a la ética científica, la decisión fue objeto de protesta por la comunidad científica internacional (Brumfiel 2004), lo cual resultó en su rápida eliminación, al menos de facto. Es de subrayar que, contrariamente a la actitud de esperar para ver qué pasaba de otras organizaciones científicas, la American Physical Society (APS), el American Institute of Physics y la American Society for the Advancement of Science rechazaron desde el comienzo la prohibición. En la experiencia personal del autor, la APS nunca vaciló en continuar con el proceso editorial de manuscritos enviados a sus revistas más visibles, incluso en el peor momento de la “crisis”.

### **Conclusión**

Desde los primeros años 90 del pasado siglo, la Física cubana se ha abierto como nunca antes a las revistas científicas internacionales, a pesar de la escasez rampante de recursos materiales —una demostración convincente del instinto de supervivencia de la Física en Cuba. Mientras que el volumen de artículos se incrementó hasta el año 2000, y parece que ha saturado o

---

<sup>13</sup> En los últimos años, al pasar algunas revistas al modo de Open Access, se está generalizando solicitar dinero a los autores como requisito para publicar, lo cual pone en una situación muy difícil a los artículos cuyos autores son exclusivamente cubanos. Vale aclarar que la Revista Cubana de Física es no sólo Open Access, sino de publicación gratuita para los autores.

ligeramente decrecido después, el impacto internacional de éstos ha crecido sin pausa desde 1995 hasta el primer decenio del siglo XXI –se requiere estudiar qué ha ocurrido durante el último decenio, aproximadamente. Una amplia comunidad de físicos y físicas ha contribuido notablemente a esta situación, incluyendo un grupo de teóricos y algunos experimentalistas de nivel que, luchando contra todas las dificultades han logrado producir investigación de excelencia.

La mayoría de las publicaciones internacionales más citadas en el campo de la Física generadas por cubanos poseen algunas características comunes: se concentran en la Física del Estado Sólido; han sido generadas por un grupo reducido de profesionales afiliados a instituciones habaneras; son predominantemente teóricas, y se han producido en el contexto de la colaboración internacional<sup>14</sup>. Al menos la primera y la cuarta características son comunes no sólo a los más citados, sino a la gran mayoría de los artículos de Física. Las contribuciones cubanas a revistas de amplio espectro dentro de la Física, sin embargo, tienden a alejarse del Estado Sólido. Este autor considera que la renovación de la Física cubana requiere de un esfuerzo estratégico en dos direcciones: por una lado, el fortalecimiento de la infraestructura experimental y teórica en la Física del Estado Sólido (especialmente en conexión en la llamada nanociencia) y, por otro, la maduración de la investigación en temas inter-disciplinarios. Hoy día, este segundo proceso está teniendo lugar de forma “auto-organizada”. Naturalmente, hay un tercer elemento necesario no sólo para salvar la investigación en Física, sino en todas las ramas de la ciencia cubana: el mejoramiento de las condiciones de vida de los profesionales viejos y jóvenes, que contribuya a disminuir a niveles aceptables la peligrosa emigración de físicos en etapas cada vez más tempranas de su formación.

## **Agradecimientos**

Se agradece al “Abdus Salam” ICTP por haber apoyado la escritura de la primera versión de este manuscrito. También a M. Sánchez-Colina y A. Baracca por haber motivado su escritura y a A. Abelenda por la edición de la versión final.

---

<sup>14</sup> En los últimos años, la Física nuclear ha estado representada en artículos de alta visibilidad enmarcados en colaboradores multinacionales “masivas” (ALICE), pero no creemos que este hecho evidencie un avance importante en el nivel de las investigaciones nucleares dentro de la isla, especialmente las de carácter experimental.

## Referencias

- Altshuler, E.: Quantifying the Impact of Physics through Scientific Publications. *Rev. Cuba. Fis.*, 22, 2005, 173.
- Brumfiel, G.: Publishers Split over Response to U.S. Trade Embargo Ruling. *Nature* ,427, 2004, 663. [http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6976/full/427663a\\_fs.html](http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6976/full/427663a_fs.html), accedido el 24 de febrero de 2011.
- Hayes, B.: On the Threshold. *American Scientist*, 91, 2003, 12.
- Feder, T. Physics in Cuba. *Physics Today*, 71, 2018, 48
- Marx, W. y Cardona, M. (2014). *Physics in Cuba from the Perspective of Bibliometrics*. In *The History of Physics in Cuba* (Springer, 2014)
- Popescu, I.-I. (2002). *Science Journal Ranking by Average Impact Factors*: [http://alpha2.infim.ro/~ltpd/Jo\\_rankingb.htm](http://alpha2.infim.ro/~ltpd/Jo_rankingb.htm), accedido el 24 de febrero de 2011.
- Ruvinsky, J.: Small Minds Think Alike. *Discover: Science, Technology and the Future*, 26, 2005, 12.



# Max Planck Institute for the History of Science

Preprints since 2014 (a full list can be found at our website)

- 454 Klaus Geus and Mark Geller (eds.) **Esoteric Knowledge in Antiquity** (TOPOI - Dahlem Seminar for the History of Ancient Sciences Vol. II)
- 455 Carola Sachse **Grundlagenforschung. Zur Historisierung eines wissenschaftspolitischen Ordnungsprinzips am Beispiel der Max-Planck-Gesellschaft (1945–1970)**
- 456 David E. Rowe and Robert Schulmann **General Relativity in the Context of Weimar Culture**
- 457 F. Jamil Ragep **From Tūn to Turun: The Twists and Turns of the Tūsī-Couple**
- 458 Pietro Daniel Omodeo **Efemeridi e critica all'astrologia tra filosofia naturale ed etica: La contesa tra Benedetti e Altavilla nel tardo Rinascimento torinese**
- 459 Simone Mammola **Il problema della grandezza della terra e dell'acqua negli scritti di Alessandro Piccolomini, Antonio Berga e G. B. Benedetti e la progressiva dissoluzione della cosmologia delle sfere elementari nel secondo '500**
- 460 Stefano Bordoni **Unexpected Convergence between Science and Philosophy: A debate on determinism in France around 1880**
- 461 Angelo Baracca **Subalternity vs. Hegemony – Cuba's Unique Way of Overcoming Subalternity through the Development of Science**
- 462 Eric Hounshell & Daniel Midena **"Historicizing Big Data" Conference, MPIWG, October 31 – November 2, 2013 (Report)**
- 463 Dieter Suisky **Emilie Du Châtelet und Leonhard Euler über die Rolle von Hypothesen. Zur nach-Newtonschen Entwicklung der Methodologie**
- 464 Irina Tupikova **Ptolemy's Circumference of the Earth** (TOPOI - Towards a Historical Epistemology of Space)
- 465 Irina Tupikova, Matthias Schemmel, Klaus Geus **Travelling along the Silk Road: A new interpretation of Ptolemy's coordinates**
- 466 Fernando Vidal and Nélia Dias **The Endangerment Sensibility**
- 467 Carl H. Meyer & Günter Schwarz **The Theory of Nuclear Explosives That Heisenberg Did not Present to the German Military**
- 468 William G. Boltz and Matthias Schemmel **Theoretical Reflections on Elementary Actions and Instrumental Practices: The Example of the Mohist Canon** (TOPOI - Towards a Historical Epistemology of Space)
- 469 Dominic Olariu **The Misfortune of Philippus de Lignamine's Herbal or New Research Perspectives in Herbal Illustrations From an Iconological Point of View**
- 470 Fidel Castro Díaz-Balart **On the Development of Nuclear Physics in Cuba**
- 471 Manfred D. Laubichler and Jürgen Renn **Extended Evolution**
- 472 John R. R. Christie **Chemistry through the 'Two Revolutions': Chemical Glasgow and its Chemical Entrepreneurs, 1760-1860**
- 473 Christoph Lehner, Helge Wendt **Mechanik in der Querelle des Anciens et des Modernes**
- 474 N. Bulatovic, B. Saquet, M. Schlender, D. Wintergrün, F. Sander **Digital Scrapbook – can we enable interlinked and recursive knowledge equilibrium?**
- 475 Dirk Wintergrün, Jürgen Renn, Roberto Lalli, Manfred Laubichler, Matteo Valleriani **Netzwerke als Wissensspeicher**
- 476 Wolfgang Lefèvre **„Das Ende der Naturgeschichte“ neu verhandelt**
- 477 Martin Fechner **Kommunikation von Wissenschaft in der Neuzeit: Vom Labor in die Öffentlichkeit**
- 478 Alexander Blum, Jürgen Renn, Matthias Schemmel **Experience and Representation in Modern Physics: The Reshaping of Space** (TOPOI - Towards a Historical Epistemology of Space)
- 479 Carola Sachse **Die Max-Planck-Gesellschaft und die Pugwash Conferences on Science and World Affairs (1955–1984)**
- 480 Yvonne Fourès-Bruhat **Existence theorem for certain systems of nonlinear partial differential equations**
- 481 Thomas Morel, Giuditta Parolini, Cesare Pastorino (eds.) **The Making of Useful Knowledge**

- 482 Wolfgang Gebhardt Erich Kretschmann. **The Life of a Theoretical Physicist in Difficult Times**
- 483 Elena Serrano **Spreading the Revolution: Guyton's Fumigating Machine in Spain. Politics, Technology, and Material Culture (1796–1808)**
- 484 Jenny Bangham, Judith Kaplan (eds.) **Invisibility and Labour in the Human Sciences**
- 485 Dieter Hoffman, Ingo Peschel (eds.) **Man möchte ja zu seinem Fach etwas beitragen**
- 486 Elisabeth Hsu, Chee Han Lim **Enskilment into the Environment: the *Yijin jing* Worlds of *Jin* and *Qi***
- 487 Jens Høyrup **Archimedes: Knowledge and Lore from Latin Antiquity to the Outgoing European Renaissance**
- 488 Jens Høyrup **Otto Neugebauer and the Exploration of Ancient Near Eastern Mathematics**
- 489 Matteo Valleriani, Yifat-Sara Pearl, Liron Ben Arzi (eds.) **Images Don't Lie(?)**
- 490 Frank W. Stahnisch (ed.) **Émigré Psychiatrists, Psychologists, and Cognitive Scientists in North America since the Second World War**
- 491 María Sánchez Colina, Angelo Baracca, Carlos Cabal Mirabal, Arbelio Pentón Madrigal, Jürgen Renn, Helge Wendt (eds.) **Historia de la física en Cuba (siglo XX)**