

# EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES (IMRE) DE LA UNIVERSIDAD DE LA HABANA: ANIVERSARIO XL

## THE INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY (IMRE) OF THE UNIVERSITY OF HAVANA: 40TH ANNIVERSARY

J. A. MARTÍNEZ<sup>✉†</sup>, K. VALDIVIÉS-CRUZ<sup>✉</sup><sup>a</sup>, C. R. MILIÁN-PILA<sup>✉</sup><sup>a</sup>

Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), Universidad de La Habana, 10400 La Habana, Cuba; javmar@imre.uh.cu  
✉ para la correspondencia

Recibido 5/2/2025; Aceptado 20/12/2025

En el presente trabajo se realiza un rápido recuento de la trayectoria científica del Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana, desde su fundación en 1985 hasta su 40 aniversario. Analizamos los principales resultados investigativos logrados durante estos 40 años, así como realizamos un estudio de su comportamiento histórico.

This article presents a short review of the scientific history of the Institute of Materials Science and Technology (IMRE) of the University of Havana, from its creation in 1985 to its 40th anniversary. We analyze the main research results achieved during these 40 years, as well as an study of its historical performance.

**Keywords:** Historia de la Ciencia (history of science); instalaciones de laboratorio nacionales e internacionales); ciencia de materiales (materials science), nanociencia (nano-science), nanotecnología (nanotechnology)

## I. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad de La Habana (UH), fue fundado como Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) el 1 de julio de 1985 [1–3]. Durante estos 40 años de existencia, el IMRE ha realizado importantes aportes al conocimiento científico de Cuba, sea realizando investigaciones científicas originales, desarrollando productos innovativos, o realizando servicios científico-técnicos. También ha jugado un importante papel en la formación postgraduada de profesionales y en el apoyo a la docencia de pregrado de la Universidad de La Habana. El llegar a 40 años, es sin duda un gran éxito, a pesar de las muchas dificultades en el camino de un Instituto que, como “unidad presupuestada”, no pertenece a ningún grupo empresarial, sufriendo de las lógicas carencias presentes en nuestra sociedad. Intentaremos realizar en este artículo un recuento y análisis de lo logrado en estos años en el campo de la investigación científica.

y Matemática, se iniciaron las investigaciones científicas por parte de profesores y estudiantes y con posterioridad, en la medida que las investigaciones se fueron desarrollando, se fueron creando los centros científicos universitarios [1,4].

El creciente desarrollo en Cuba en la década de 1980 de una industria electrónica, de acuerdo con los planes y convenios dentro del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) de los países socialistas hacia necesario y aconsejable la organización y centralización en un instituto de las investigaciones que realizaban hasta entonces por separado, grupos de las Facultades de Física y Química de la UH. Así, el 1 de julio de 1985 se creó el Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) de la Universidad de La Habana. Formado con personal proveniente de ambas facultades (Física y Química), con larga experiencia investigativa y docente, el IMRE concentró el caudal de conocimientos acumulados por los claustros de ambas facultades, en especial en las investigaciones sobre Física y Química del Estado Sólido [1–3]. Sus laboratorios fundacionales radicaban originalmente dentro de las propias instalaciones de las facultades de Física y Química. En fechas posteriores, tras los primeros logros científicos salidos del nuevo instituto se construyeron sus propias instalaciones, aun cuando una parte de sus laboratorios permanecieron en el edificio de la Facultad de Física.

## II. ANTECEDENTES Y SURGIMIENTO DEL IMRE

La investigación científica en las universidades cubanas surge con la Reforma Universitaria de 1962. Hasta aquel momento, las escasas universidades cubanas formaban primordialmente graduados en especialidades humanísticas (Derecho, Filosofía y Letras) y Medicina, y en mucha menor medida ingenieros, que por demás contaban con planes de estudios en general obsoletos. Apenas existían las carreras de ciencias y la investigación científica en las universidades era prácticamente nula [1,4].

La reforma universitaria de 1962 cambió radicalmente este panorama, surgieron las nuevas carreras de Física, Química

## III. PRIMEROS AÑOS

Casi coincidentemente con el surgimiento del IMRE, se produjo en 1986-1987 un descubrimiento científico de impacto mundial y con perspectivas muy promisorias: el descubrimiento de la superconductividad a “altas” temperaturas [5,6] (“altas” comparadas con las temperaturas

hasta entonces conocidas en las cuales se podía lograr este fenómeno, por debajo de algunos kelvin), que prometía una manera más eficiente de aprovechamiento de la energía eléctrica, si se lograba elevar la temperatura crítica de los superconductores hasta la temperatura ambiente.

La experiencia del Laboratorio de Magnetismo en la obtención de ferritas por el método cerámico, permitió que un equipo de ese laboratorio obtuviese en el propio 1987 una cerámica que sumergida en nitrógeno líquido hacía levitar sobre ella a un imán, mostrando su carácter superconductor. Este resultado mostró que el IMRE, desde sus inicios, no sólo era capaz de resolver problemas prácticos, sino que tendría potencial para obtener resultados científicos de nivel mundial. [1]

Coincidentemente con estos éxitos en el campo del magnetismo y la superconductividad, en las instalaciones del IMRE se obtuvieron otros importantes logros en estos primeros años, como lo fueron: producción de óxido férrico cubano y ferritas cubanas a partir de éste, crecimiento de monocrstales de cuarzo a partir de cuarzo cubano, fabricación de imanes permanentes, fabricación de fotodiodos, soluciones bùffer para gasometría, desarrollo de hemoglobinómetros, patrones de medicamentos, obtención de derivados de la quitosana, electrodos para cálculos renales, polímeros para lentes de contacto, trabajos de homologación y sustitución de importaciones en la electrónica, pinturas conductoras para circuitos flexibles, sensores de oxígeno por electrólitos sólidos para controlar la eficiencia de las calderas, láser para cirugía oftalmológica, equipo digitalizador de imágenes, desarrollo de materiales zeolíticos, fabricación de LEDs, obtención y caracterización de nuevos materiales semiconductores y para celdas solares, y obtención de reactivos de alta pureza [3].

#### IV. CRISIS: EL IMRE DURANTE EL PERÍODO ESPECIAL

Las afectaciones debidas al llamado Período Especial en la década de 1990, repercutieron inmediatamente en el IMRE en la carencia de reactivos químicos, en la ausencia de insumos para equipos e instrumental científico, la falta de piezas de repuesto, la falta de financiamiento para emprender nuevos proyectos investigativos y sostener los que se venían realizando, etcétera [1-3].

En el caso del IMRE, la paralización del Programa de la Electrónica, desarrollado dentro de los marcos del CAME, afectó el propio objetivo fundamental para el que había sido creado: el desarrollo de materiales y reactivos para la Electrónica. Necesariamente el IMRE debía cambiar la orientación de sus objetivos de investigación. La existencia de investigaciones previas en diferentes ramas de la Ciencia de Materiales daba al IMRE una amplia base y experiencia. De modo que el cambio de objetivos del instituto tenía que hacerse de forma natural [1].

#### V. EL IMRE DE HOY: CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Este cambio de orientación, impuesto por las condiciones económicas del país, se realizó paulatinamente en esos

años de Período Especial. Las investigaciones desarrolladas desde la fundación del IMRE en el estudio y desarrollo de ciertos materiales utilizados en la industria electrónica, especializaron al personal científico del instituto en un campo investigativo multidisciplinario, donde convergen Física, Química e Ingeniería, Ciencia y Tecnología: la Ciencia y Tecnología de Materiales [1].

Un momento importante en este proceso de transformaciones lo constituyó el cambio oficial de nombre del instituto, que a partir del curso 2005-2006 comenzó a denominarse Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, manteniendo las siglas IMRE [1].

Como resultado de todo este proceso, las investigaciones científicas del IMRE se concentran hoy en las siguientes líneas: nanociencia y nanotecnología, nuevos materiales y sus tecnologías, diseño de dispositivos para la energía, el medio ambiente y médico farmacéuticos, análisis químico especializado, protección del medio ambiente, y desarrollo energético sostenible.

### VI. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

#### VI.1. Artículos

Uno de los aspectos principales que caracteriza la labor de los investigadores del IMRE es su producción científica. A pesar de ser un centro de investigación relativamente pequeño, en los últimos años su producción científica en total de artículos, y en número de artículos publicados en revistas indexadas en la Web of Science o Scopus representa aproximadamente el 5% y el 10% de la producción total de la Universidad de La Habana, respectivamente. El comportamiento histórico de las publicaciones científicas del IMRE entre 1985 y 2024, ambos incluidos, de acuerdo con los artículos que hemos localizado en Google Académico, que hayan sido firmados por al menos un autor con la afiliación del IMRE (sea miembro de su claustro o adjunto), se muestra en la Figura 1 [7].

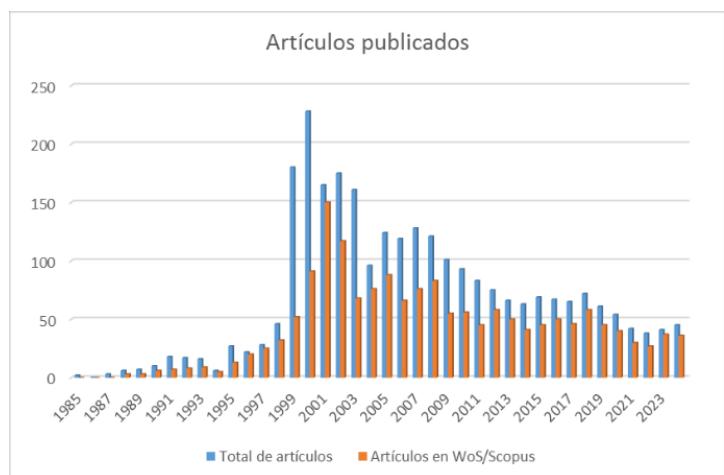


Figura 1. Número de artículos publicados por el IMRE en 1985-2024. Las barras azules representan el total de artículos y las barras naranjas aquellos publicados en revistas indexadas en la Web of Science o Scopus.

En la gráfica se puede apreciar una modesta producción científica en los primeros años del IMRE, similar al de otros centros de investigación de nuestro país en esos años, donde la política científica era dar prioridad a la aplicación concreta de los resultados científicos, y no su visibilidad en forma de publicaciones científicas. Es a partir del comienzo del denominado Período Especial que esta política cambia, y se comienza a promover la publicación de los resultados, incluso a nivel de Ciencia Básica. También influyó el cambio de las relaciones internacionales, que en los primeros años eran primordialmente con la Unión Soviética y los países del Campo Socialista (especialmente Hungría, Polonia y la República Democrática Alemana), naciones que compartían la misma política científica que Cuba, y que comienzan a partir de la década de 1990 a crecer y desarrollarse con países como México, Brasil, España y Francia, donde se priorizaba la publicación de los resultados, lo que también influyó en este cambio.

Es así como a partir de 1995 la producción científica publicada del IMRE se multiplica y comienza a crecer vertiginosamente de año en año. La conexión de Cuba a Internet en 1996 facilitó también el acceso a las revistas científicas internacionales y el envío de artículos a publicar en revistas fuera de Cuba. Este comportamiento alcanza su máximo alrededor del cambio de milenio (en 2000 se publicaron 228 artículos en total y en 2001 150 artículos fueron publicados en revistas indexadas en la Web of Science o Scopus) [7].

A partir de los primeros años del siglo XXI, nuestra producción científica ha mostrado en general una tendencia al decrecimiento. Esto tiene diferentes causas, entre las que se encuentra la obsolescencia, envejecimiento y roturas de nuestro equipamiento científico; y el éxodo de personal calificado, especialmente doctores y jóvenes, que se hizo más notorio justamente después del año 2000. Además, influye el incremento en las dificultades para publicar en revistas de impacto, causado por la promoción de las publicaciones de acceso abierto, cuyos costos no podemos pagar. Igualmente, han influido los vaivenes de las relaciones internacionales de nuestro país, al cancelarse los acuerdos de colaboración con otros países o ser el nuestro sometido a sanciones.

No obstante debe subrayarse una tendencia positiva: a partir de la segunda década de los 2000, hay una tendencia al incremento del por ciento de artículos publicados en la Web of Science o Scopus con respecto al total: es decir, si bien se publican menos artículos, estos tienen más calidad, pues se concentra la mayor parte de ellos en las revistas de mayor impacto y prestigio. Entre 2002 y 2011 en promedio, el 61 % de nuestros artículos fueron publicados en la Web of Science o Scopus. Sin embargo, entre 2012 y 2024, es decir, incluyendo los años de la pandemia del COVID-19, en promedio, esta cifra se incrementa hasta el 75 % [7].

Sin embargo, la tendencia decreciente en la publicación de artículos, anteriormente analizada no ha sido constante. Entre 2002 y 2018 ha habido algunos períodos de recuperación, creciendo nuestras publicaciones varias veces durante dos años seguidos, con nuevos períodos de decrecimiento. Por ejemplo, a partir de 2019, hubo cuatro años seguidos

de decrecimiento, que coincidieron con la pandemia de COVID-19, que implicó el cese de las actividades presenciales debido al confinamiento y el cierre de las fronteras de Cuba, cesando completamente nuestras relaciones internacionales durante más de un año. Ello influyó negativamente sobre nuestras publicaciones, que en 2022 alcanzaron su mínimo: fueron publicados 38 artículos en total, y de ellos sólo 27 en la Web of Science o Scopus [7].

En los años más recientes, 2023 y 2024 se aprecia nuevamente una discreta recuperación de nuestra producción científica, lográndose publicar 45 artículos en total en 2024 y 36 de ellos en la Web of Science o Scopus (en 2023 fueron 41 y 37) [7].

En cuanto a la distribución de los artículos por revistas, encontramos que la revista donde más ha publicado el IMRE ha sido la Revista Cubana de Física, con 120 artículos, que representan el 6,9 % del total de publicaciones del IMRE, sobrepasando ampliamente al resto de las revistas donde se ha publicado [7]. Esto se explica si consideramos que en los años iniciales del IMRE las publicaciones se realizaban mayormente en revistas nacionales, siendo ésta una de las mejores, que en esos años publicaba de forma estable tres números anualmente (actualmente son dos de forma estable). Además, esta revista, a pesar de las dificultades, ha logrado mantenerse editándose a lo largo de más de 40 años (sólo no lo fue en 1994, 1995 y 1997). Además, desde 2012 se encuentra indexada en Scopus, y desde 2023 en el Emerging Sources Citation Index (Clarivate) [8], por lo que constituye una opción atractiva para nuestros investigadores.

Otras revistas nacionales con importante presencia de artículos del IMRE son la Revista Cubana de Química (44 artículos), la Revista CENIC Ciencias Químicas (26), los Anales de la Academia de Ciencias de Cuba (22), y Minería y Geología (17) [7].

En cuanto a revistas internacionales, se destacan Journal of Magnetism and Magnetic Materials (37 artículos), Microporous and Mesoporous Materials (32), Physica C (30), y Journal of Applied Physics (27) [7]. La gráfica con la cantidad de artículos en las veinte revistas donde más ha publicado el IMRE se muestra en la Figura 2.

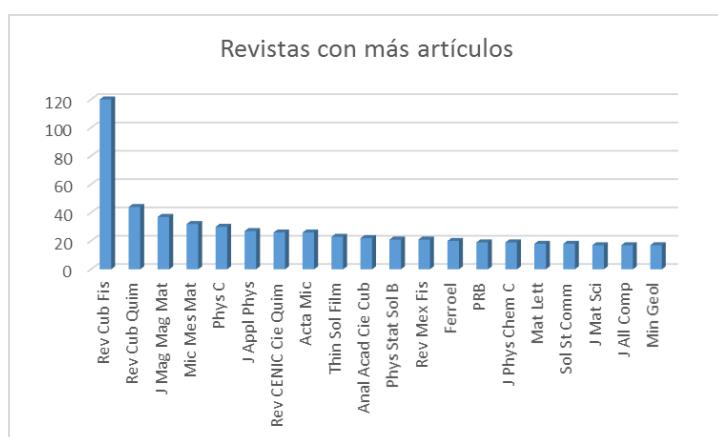


Figura 2. Revistas con más artículos publicados por el IMRE en 1985-2024.

En cuanto al impacto de las revistas donde se ha publicado, se destacan *Reviews of Modern Physics* (1 artículo [9], factor de impacto en 2023 de 36); *Advanced Energy Materials* (4 artículos [10–13] y 24,4 de factor de impacto); *Nano Energy* (2 artículos [14, 15], factor de impacto 16,8); y *Angewandte Chemie* (3 artículos [16–18], factor de impacto 16,1). La Figura 3 muestra las veinte revistas de más impacto donde ha publicado el IMRE y la cantidad de artículos en cada una de ellas. En todos los casos se han tomado los factores de impacto correspondientes a 2023.

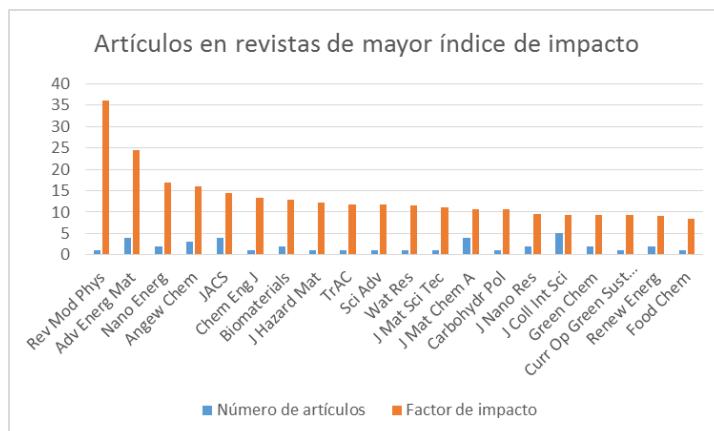


Figura 3. Factor de impacto en 2023 de las revistas de mayor factor de impacto donde ha publicado el IMRE (barras naranjas) y número de artículos publicados en ellas (barras azules) en 1985-2024.

La Figura 4 muestra la distribución de la cantidad de artículos publicados según el impacto de las revistas.

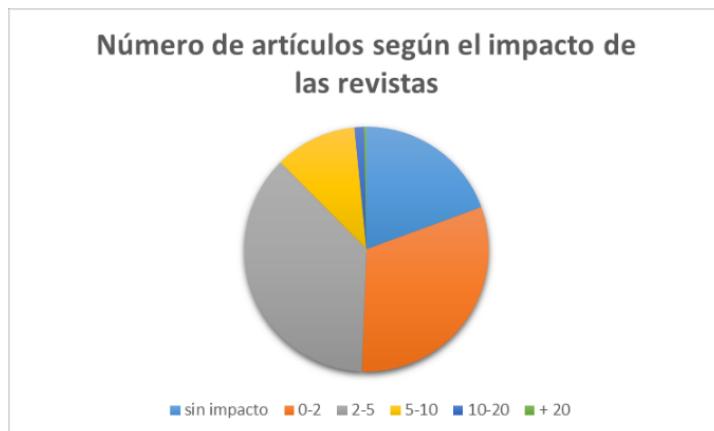


Figura 4. Distribución de la cantidad de artículos publicados por el IMRE en 1985-2024 según del factor de impacto de las revistas en 2023.

En la gráfica se puede apreciar que el 13 % de los artículos del IMRE han sido publicados en revistas con un factor de impacto superior a 5, y si consideramos un factor de impacto superior a 10, este número se eleva hasta el 49. Este análisis se confirma si examinamos las citas recibidas (Figura 5) [7]. 53 artículos han recibido la extraordinaria cifra de más de 100 citas (3 %), y aquellos con más de 10 citas representan el 41 % del total de artículos publicados, mientras que menos de la cuarta parte no ha recibido citas, siendo estos mayormente artículos

publicados en memorias de eventos, con escasa visibilidad [7]. De este modo, el 76 % de los artículos publicados en el IMRE han recibido al menos una cita, confirmándose el impacto y calidad de nuestra producción científica. Al cierre de 2024, el IMRE, colectivamente tenía un índice h de 80, un índice i10 de 697 y un factor de impacto de 2,2 [7].



Figura 5. Número de citas recibidas por artículos publicados por el IMRE en 1985-2024.

## VI.2. Libros

Otra forma de publicación donde se ha destacado el IMRE ha sido en los libros. Si bien no se cuenta con datos anteriores a 1999, entre ese año y 2024 han sido publicados 60 libros y capítulos de libros, cuya producción anual se aprecia en la Figura 6 [19].

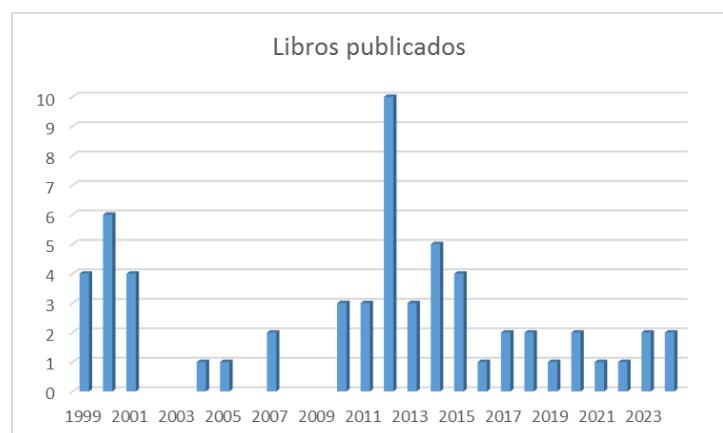


Figura 6. Publicación de libros por el IMRE en 1999-2024.

La gráfica muestra cómo desde la fecha inicial de análisis, en la mayoría de los años se han publicado libros y capítulos de libros, estabilizándose desde 2016 su número en 1-2 libros o capítulos por año. Entre las editoriales donde han sido publicados nuestros libros o capítulos, se encuentran algunas de las más importantes editoras de literatura científica del mundo, como Springer [1, 20], Elsevier [21], Reverté [22], y

CRC [23,24], y entre las nacionales, las editoriales Pueblo y Educación [25], UH [26–28], y Academia [29].

### VI.3. Participación en eventos científicos

Uno de los aspectos más destacados de la producción científica del IMRE es el alto número de trabajos que se presentan anualmente en eventos científicos nacionales e internacionales, ya sea como conferencias magistrales o invitadas, presentaciones orales, o carteles. Entre 1999 y 2024 se contabilizan 3 200 trabajos en eventos científicos, de ellos 1 802 en eventos de carácter internacional, tanto en Cuba como en el extranjero, para un promedio anual de 133 y 75 respectivamente [19].

### VI.4. Patentes, registros y normas

El IMRE también ha obtenido importantes resultados en la actividad de patentes, registros y normas. Entre 1999 y 2024 se han solicitado 79 patentes, registros y normas, y se nos han concedido 40 de ellos. Entre estos se destacan: los registros en Cuba y Canadá de la marca “Nerea”; el registro sanitario del equipo médico “FOTOTER”; las patentes: “Procedimiento para la obtención de sustratos y fertilizantes zeolíticos de liberación controlada y métodos de tratamiento de las plantas”, “Mezcla transductora epoxi-grafito para sensores electroquímicos aplicados a ensayos de afinidad”, “Cavidad para dispositivo láser de limpieza”, “Procedimiento para el tratamiento del agua residual de la destilación del licor producto de la lixiviación amoniacal de las lateritas”, “Método de lixiviación amoniacal de lateritas con activación mecánica”, “Composición formadora de película para protección contra corrosión”, “Método y aparato para el crecimiento de capas semiconductoras muy finas en régimen de epitaxia a capas atómicas”; y la norma “Zeolitas Naturales – Requisitos” [19]. Queremos destacar que los productos zeolíticos derivados de las patentes aquí mencionadas se encuentran introducidos en la agricultura de nuestro país y han sido incluso exportados [19].

El comportamiento de las patentes, registros y normas en el período analizado se muestra en la Figura 7 [19].

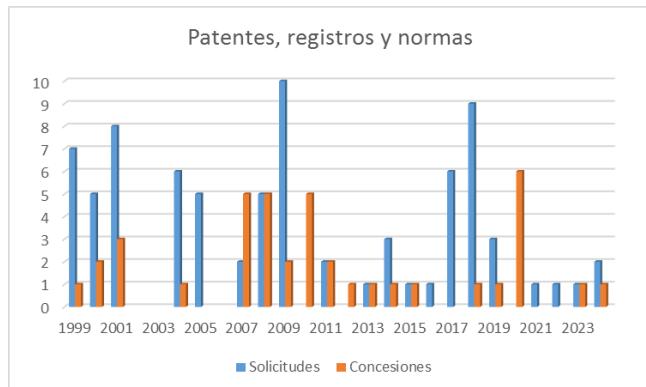


Figura 7. Patentes, registros y normas solicitados y concedidos al IMRE en el período 1999-2024.

### VI.5. Desarrollo de equipamiento científico

El IMRE también se ha destacado en el desarrollo de equipamiento científico. El equipo para terapia luminosa “FOTOTER” tiene registro sanitario y ha sido introducido en nuestro sistema de salud pública.

Se han construido láseres, así como equipos basados en éstos como el espectroscopio de plasma inducido por láser (LIBS) [30,31] y el dispersómetro láser (ALS) [32], ambos empleados en el IMRE, la desespinadora láser [33], y el microscopio de barrido por efecto túnel (STM), con el que se obtuvieron las primeras imágenes de resolución atómica en nuestro país [34,35].

### VI.6. Premios

La calidad y novedad de los resultados científicos del IMRE está avalada por el alto número de premios recibidos. Solamente entre 1999 y 2024 se han recibido 394 premios, de ellos 73 Premios Nacionales de Investigación de la Academia de Ciencias de Cuba, 129 premios de la Universidad de La Habana, 10 premios del MES, 29 premios en los diferentes niveles del Foro de Ciencia y Técnica, 9 premios CITMA y 13 premios internacionales, entre los que se destacan 3 premios Sofia Kovalevskaya, el premio de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo para las Mujeres en Ciencias (TWOWS) y la categoría de Centro STAR de la Alianza Solar Internacional concedida Laboratorio de Fotovoltaica [19]. Miembros del claustro y adjuntos del IMRE han recibido los Premios Nacionales de Física y Química.

El comportamiento anual del total de premios recibidos por el IMRE en 1999-2024 se muestra en la Figura 8 [19].

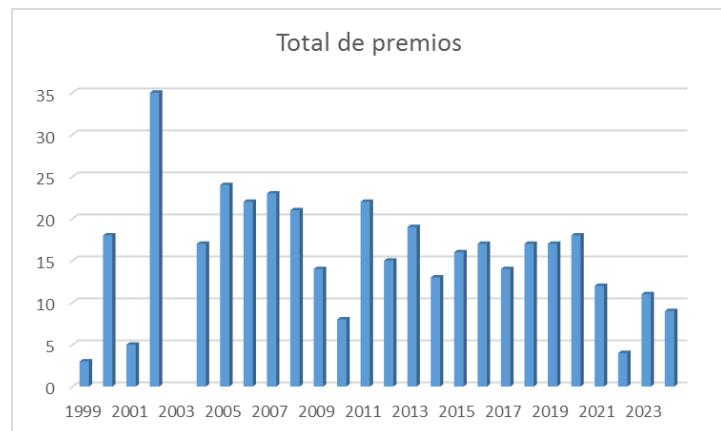


Figura 8. Premios recibidos por el IMRE en 1999-2024.

## VII. CONCLUSIONES

Hoy en día el IMRE confronta, como muchas instituciones del país, dificultades para adquirir equipamiento e insumos. A las trabas del bloqueo, se le suman las propias dificultades generadas por el burocratismo interno y la deficiente gestión

económica, todo lo cual en muchas ocasiones paraliza la ejecución de proyectos, a lo que se suma el continuo deterioro de buena parte del ya obsoleto equipamiento.

No obstante, en estos años, la inventiva de los investigadores, especialistas y técnicos se ha puesto a prueba, rescatando para su uso muchos viejos equipos y creando otros nuevos “frankenstein” a partir de viejos equipos. En esto destacaremos que varios investigadores de diferentes laboratorios han adquirido de forma autodidacta experiencia en la automatización de equipos utilizando las más modernas técnicas, que han logrado aplicar a los viejos equipos, como, por ejemplo, el uso de la instrumentación virtual en la automatización. La realización de investigaciones conjuntas con instituciones extranjeras, especialmente europeas y latinoamericanas, ha permitido financiar varias investigaciones mutuamente beneficiosas y poder, mediante donaciones o financiamiento de proyectos internacionales adquirir equipos, reactivos y resolver algunas otras necesidades.

La excelencia del claustro del IMRE es avalada por sus resultados investigativos, que superan a los obtenidos por centros del país que disponen incluso de mejor y más moderno equipamiento, o mejor financiación. Con los resultados aquí presentados, el IMRE arriba a su XL aniversario, con la vista en continuar superando lo alcanzado y continuar aportando al conocimiento científico y a la solución de los problemas de nuestro país.

## REFERENCIAS

- [1] A. Baracca, J. Renn, and H. Wendt (eds.), *The History of Physics in Cuba* (Springer, Dordrecht, 2014).
- [2] C. Rodríguez, *El IMRE en su XV aniversario* (La Habana, 2000).
- [3] C. Rodríguez, *El IMRE veinte años después* (La Habana, 2005).
- [4] R. de Armas, E. Torres-Cuevas, and A. Cairo Ballester, *Historia de la Universidad de La Habana* (Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, 1984).
- [5] J. G. Bednorz and K. A. Müller, *Z. Phys. B* **64**, 189 (1986).
- [6] M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Tornq, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, and C. W. Chu, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 908 (1987).
- [7] Información compilada mediante Google Académico. Consultado el 1 de abril de 2025.
- [8] E. Ramírez-Miquet and E. Altshuler, *Rev. Cub. Fis.* **40**, 59 (2023).
- [9] E. Altshuler and T. H. Johansen, *Rev. Mod. Phys.* **76**, 471 (2004).
- [10] O. Almora, D. Baran, G. C. Bazan, C. Berger, C. I. Cabrera, K. R. Catchpole, S. Erten-Ela, F. Guo, J. Hauch, A. W. Y. Ho-Baillie, T. J. Jacobsson, R. A. J. Janssen, T. Kirchartz, N. Kopidakis, Y. Li, M. A. Loi, R. R. Lunt, X. Mathew, M. D. McGehee, J. Min, D. B. Mitzi, M. K. Nazeeruddin, J. Nelson, A. F. Nogueira, U. W. Paetzold, N.-G. Park, B. P. Rand, U. Rau, H. J. Snaith, E. Unger, L. Vaillant-Roca, H.-L. Yip, and C. J. Brabec, *Adv. Energy Mater.* **11**, 2002774 (2021).
- [11] O. Almora, D. Baran, G. C. Bazan, C. Berger, C. I. Cabrera, K. R. Catchpole, S. Erten-Ela, F. Guo, J. Hauch, A. W. Y. Ho-Baillie, T. J. Jacobsson, R. A. J. Janssen, T. Kirchartz, N. Kopidakis, Y. Li, M. A. Loi, R. R. Lunt, X. Mathew, M. D. McGehee, J. Min, D. B. Mitzi, M. K. Nazeeruddin, J. Nelson, A. F. Nogueira, U. W. Paetzold, N.-G. Park, B. P. Rand, U. Rau, H. J. Snaith, E. Unger, L. Vaillant-Roca, H.-L. Yip, and C. J. Brabec, *Adv. Energy Mater.* **11**, 2102526 (2021).
- [12] O. Almora, D. Baran, G. C. Bazan, C. Berger, C. I. Cabrera, S. Erten-Ela, K. Forberich, F. Guo, J. Hauch, A. W. Y. Ho-Baillie, T. J. Jacobsson, R. A. J. Janssen, T. Kirchartz, N. Kopidakis, M. A. Loi, R. R. Lunt, X. Mathew, M. D. McGehee, J. Min, D. B. Mitzi, M. K. Nazeeruddin, J. Nelson, A. F. Nogueira, U. W. Paetzold, B. P. Rand, U. Rau, H. J. Snaith, E. Unger, L. Vaillant-Roca, C. Yang, H.-L. Yip, and C. J. Brabec, *Adv. Energy Mater.* **13**, 2203313 (2023).
- [13] O. Almora, C. I. Cabrera, S. Erten-Ela, K. Forberich, K. Fukuda, F. Guo, J. Hauch, A. W. Y. Ho-Baillie, T. J. Jacobsson, R. A. J. Janssen, T. Kirchartz, M. A. Loi, X. Mathew, D. B. Mitzi, M. K. Nazeeruddin, U. W. Paetzold, B. P. Rand, U. Rau, T. Someya, E. Unger, L. Vaillant-Roca, and C. J. Brabec, *Adv. Energy Mater.* **14**, 2303173 (2024).
- [14] L. Zhao, J. Duan, L. Liu, J. Wang, Y. Duan, L. Vaillant-Roca, X. Yang, and Q. Tang, *Nano Energy* **82**, 105773 (2021).
- [15] J. Yuan, X. Yang, D. Zheng, J. Guo, W. Lin, J. Liao, Y. Wang, L. Vaillant-Roca, J. Duan, and Q. Tang, *Nano Energy* **110**, 108341 (2023).
- [16] O. Arias de Fuentes, T. Ferri, M. Frasconi, V. Paolini, and R. Santucci, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 3457 (2011).
- [17] C. L. I. M. White, A. R. Ruiz-Salvador, and D. W. Lewis, *Angew. Chem. Int. Ed.* **43**, 469 (2004).
- [18] T. Ferri, D. Frasca, O. Arias de Fuentes, R. Santucci, and M. Frasconi, *Angew. Chem. Int. Ed.* **50**, 7074 (2011).
- [19] IMRE-UH, *Balances Anuales de Investigación* (La Habana, 1999-2024).
- [20] O. V. Kharisova, L. M. Torres-Martínez, and B. I. Kharisov (eds.), *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications* (Springer, Cham, 2020).
- [21] G. Doxastakis and V. Kiosseoglou (eds.), *Novel Macromolecules in Food Systems* (Elsevier, Amsterdam, 2000).
- [22] L. Leija (coord.), *Métodos de procesamiento avanzado e inteligencia artificial en sistemas sensores y biosensores* (Editorial Reverté, Barcelona, 2009).
- [23] D. E. Reisner and T. Pradeep (eds.), *Aquanano technology: Global Prospects* (CRC Press, Boca Raton, 2015).
- [24] P. Prokopovich (ed.), *Biological and Pharmaceutical Applications of Nanomaterials* (CRC Press, Boca Raton, 2016).
- [25] P. Y. Reyes (coord.), *Fundamentos de la Metrología* (Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 2012).

- [26] E. Pedrero González and F. C. Zawislak, *Cien años de colisiones nucleares* (Editorial UH, La Habana, 2011).
- [27] M. A. Chávez Planes, J. Díaz Brito, and O. Arias de Fuentes (coords.), *Nano-micro-biotecnologías y sus aplicaciones* (Editorial UH, La Habana, 2019).
- [28] G. Dutrénit and J. Núñez Jover (coords.), *Vinculación universidad-sector productivo para fortalecer los sistemas nacionales de innovación: experiencias de Cuba, México y Costa Rica* (Editorial UH, La Habana, 2017).
- [29] E. Pedrero González, *¿De qué están hechas las cosas?* (Editorial Academia, La Habana, 2019).
- [30] L. Moreira Osorio, L. V. Ponce Cabrera, M. A. Arronte García, T. Flores Reyes, and I. Ravelo, *J. Phys.: Conf. Series* **274**, 012093 (2011).
- [31] L. Moreira, L. Ponce, C. Valdés, F. Corvo, M. Arronte, E. de Posada, Y. Pérez, T. Flores, I. Ravelo, O. Cruzata, B. Lambert, J. L. Cabrera, A. Borges, A. Ponce, and L. C. Hernández, *Rev. Cub. Fis.* **28**, 87 (2011).
- [32] Y. Pérez-Moret, J. A. Martínez, M. P. Hernández, J. O. Abad, R. Sis, E. Lo Giudice, H. Yee-Madeira, and J. A. Díaz-Góngora, *Proc. SPIE* **8011**, 801104 (2011).
- [33] L. Ponce, M. Arronte, E. de Posada, and T. Flores, *Ind. Laser Solut. Manuf.* **24**, 6 (2009).
- [34] J. A. Martínez, J. Valenzuela, M. P. Hernández, and J. Herrera, *Rev. Mex. Fis.* **62**, 45 (2016).
- [35] M. P. Hernández and J. A. Martínez, *Rev. Cub. Fis.* **42**, 67 (2025).

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) license.

