

INGENIERÍA MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

**Elizabeth León-Reyes y
Ismael Herrera-Revilla**

*Instituto de Geofísica, UNAM
APDO 22-582, Ciudad Universitaria
Mexico, D.F., 14000
e-mail: leon@uxmcc2.iimas.unam.mx,
e-mail: iherrera@servidor.unam.mx*

A. Gustavo Ayala

*Instituto de Ingeniería, UNAM
APDO 70-642, Ciudad Universitaria
Mexico D.F., 04510
Email: gayala@dali.fi-p.unam.mx,
web page: <http://frida.fi-p.unam.mx/>*

Resumen. En este artículo se presenta una reseña sobre el desarrollo de la Ingeniería Matemática y Computacional (IMC) en México desde su inicio como disciplina científica hasta su estado actual. Se presenta y justifica un plan mediante para organizar una sociedad nacional en esta área de conocimiento. Asimismo, se propone instrumentar un grupo de carácter interinstitucional que realice investigación y desarrollo en estos temas y que fomente la divulgación y aplicación de las matemáticas computacionales en el país.

Palabras clave: Ingeniería Matemática y Computacional, Ciencias Computacionales, Modelación Matemática, Ciencias de la computación, Ingeniería, Ciencias.

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas que interesan a la sociedad son de enorme diversidad y frecuentemente de gran complejidad. En términos muy generales pertenecen al mundo físico, biológico o social. Gracias al avance de la modelación matemática y computacional es posible en la actualidad predecir el comportamiento de una gran variedad de sistemas. Sin embargo, hay un gran número de problemas que aún por su gran escala o complejidad no se han podido resolver satisfactoriamente porque se requiere del trabajo de un grupo multidisciplinario de científicos, ingenieros, matemáticos y computólogos. Debido a esto a la IMC, también conocida como Ciencias Computacionales, se le presta mucha atención internacionalmente, particularmente en los países avanzados, y la investigación en este campo ha tenido y continúa teniendo un gran dinamismo.

Causas básicas que motivan esta atención tan especial es su importancia en las ciencias básicas, en las ingenierías y en la innovación y adecuación tecnológicas, así como el interés en ella como medio para elevar la calidad de la docencia -a todos los niveles: medio, licenciatura y posgrado- y de la práctica profesional en ingeniería, química y muchas otras ramas de la ciencia.

Uno de los objetivos principales de la IMC es el desarrollo de teorías y métodos computacionales capaces de resolver problemas de las otras disciplinas del quehacer humano. Principalmente aquellos que permitan la construcción de modelos matemáticos computacionales capaces de predecir el comportamiento de sistemas de interés para la sociedad y que se presentan en las ciencias, las ingenierías, las tecnologías y, con mayor generalidad, en toda clase de actividades. La predicción del comportamiento de dichos sistemas es indispensable para su diseño, su operación y su control. En la Ciencia, ella es fundamental para la interpretación y comprobación de experimentos y, en un sentido más general, para alcanzar una comprensión más profunda de los fenómenos.

Desafortunadamente, México no cuenta con una sociedad científica/profesional que tenga como objetivos la coordinación divulgación y el desarrollo de los conocimientos de la IMC, por lo que es urgente proceder a su organización.

2 ¿QUÉ ES LA IMC?

La IMC no es una disciplina independiente, es una disciplina integradora del conocimiento y de las metodologías que se generan en disciplinas como las matemáticas aplicadas, la ciencia de la computación y la ciencia e ingeniería. (Fig. 1)

La IMC es un enfoque multidisciplinario para hacer ciencia y tecnología con ayuda de formulaciones matemáticas, de los métodos numéricos y de las computadoras. Su función es investigar (Ver Fig. 2) cómo usar eficazmente (Adaptación Tecnológica) las herramientas matemáticas (Investigación básica), las técnicas de modelación y visualización de los problemas físicos (Investigación Aplicada) y sobre todo las computadoras (Desarrollo Tecnológico) para resolver problemas científicos y tecnológicos de interés, permitiendo así acelerar la transferencia tecnológica, que se concreta en mejorar los servicios tecnológicos, y la Investigación tanto básica como aplicada.

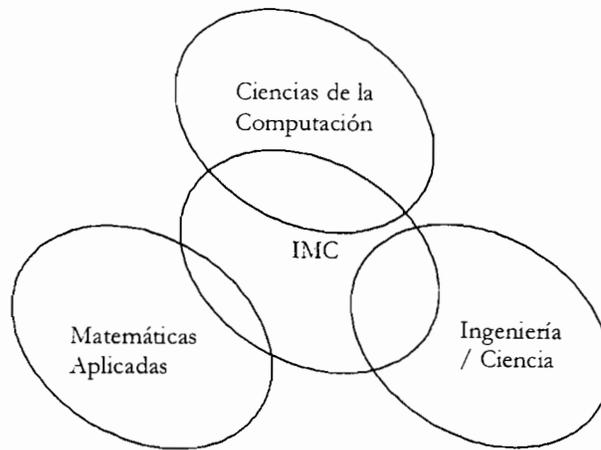


Fig 1. Relación de la IMC con otras ciencias².

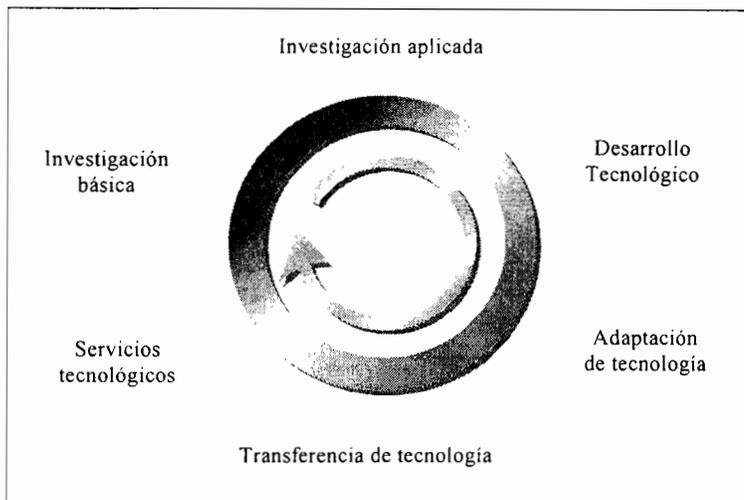


Fig 2. Ingeniería Matemática Computacional.

3 ANTECEDENTES DE LA IMC EN MEXICO

El nacimiento de la IMC en México se remonta a mediados de los 50s cuando

se forma un grupo de investigación en ingeniería que años más tarde se consolidó como un grupo de investigación con personalidad propia dentro de la UNAM. Dentro de este Instituto la visión de Emilio Rosenblueth, Enzo Levi, Raúl Marsal, entre otros, permitió la consolidación de los primeros grupos de investigación que involucraban las matemáticas y las ciencias computacionales en su trabajo académico cotidiano. Fue en este Instituto que se realizaron desarrollos aplicaciones pioneras en sus áreas sobre los métodos de las diferencias finitas y los elementos finitos. Este inició exitoso, sin embargo, se vio de alguna manera frenado por las posiciones de algunos investigadores importantes dentro de la misma dependencia que consideraban las actividades vinculadas a las MIC como actividades de bajo valor académico y en principio propias de “programadores” y no de científicos.

Por lo que se refiere a la formación de recursos humanos de alto nivel, con la llegada de las primeras computadoras en México se iniciaron posgrados en computación que incluían temas de las MIC en el Centro Nacional de Cálculo del IPN y del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas de la UNAM. Entre los investigadores que en su momento iniciaron y consolidaron las actividades de formación de recursos humanos se encuentran Harold McIntosh, Adolfo Guzmán, Robert Yates, entre otros.

En el pasado reciente ha surgido un interés importante de distintos grupos de investigación dentro y fuera de la UNAM por realizar más actividades dentro de la MIC. Esfuerzos importantes ocurrieron y aún ocurren dentro del Instituto de Ingeniería, el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas y el Instituto de Geofísica estos dentro de la UNAM. Otros esfuerzos importantes ocurren en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN, en el Instituto Mexicano del Petróleo, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, entre otros.

4 LA IMC EN EL PRESENTE

4.1 Investigación e industria

Los sistemas que interesan a la sociedad son de enorme diversidad y frecuentemente de gran complejidad. En términos muy generales pertenecen al mundo físico, biológico o social. En el caso de los sistemas físicos cabe distinguir entre los microscópicos y los macroscópicos; así, las moléculas, los átomos y las partículas elementales por una parte y la atmósfera, los océanos, la parte sólida de la Tierra con sus diversas componentes -corteza, manto y núcleo-, los ríos y otros cuerpos de agua superficiales, los sistemas hidráulicos subterráneos, los yacimientos petroleros y geotérmicos, las estructuras civiles -edificios, caminos, presas, etc., y muchos más, por la otra. Si los sistemas físicos son diversos, los biológicos y los sociales lo son aun más.

Si a la enorme diversidad de los sistemas de que se ocupa la IMC agregamos su gran complejidad, las dificultades asociadas a los problemas que hay que resolver en estas áreas parecerían insuperables. Sin embargo, el pensamiento y las metodologías matemáticas, así como también el notable avance de la Ciencia e Ingeniería de la Computación, han contribuido en forma muy importante a superarlas, por lo que la modelación matemática y computacional es capaz en la actualidad de predecir el comportamiento de una gran variedad de sistemas. No obstante los logros obtenidos, hay un gran número de problemas que por su gran escala o complejidad no se han podido resolver satisfactoriamente y es que se trata de tareas que ya no pueden ser realizadas por un especialista porque ninguna disciplina por sí sola tiene “la respuesta”. Ahora se requiere del trabajo multidisciplinario de científicos, ingenieros, matemáticos y computólogos. Es indudable que la computación ha penetrado en todas las áreas del conocimiento, sin embargo, no toda la capacidad de la tecnología computacional está al alcance de los científicos e ingenieros. El papel de la IMC es desarrollar modelos adecuados cuyo cálculo computacional sea correcto. En la práctica lo que sucede es que en las formulaciones científicas de un problema rara vez se toma en cuenta a la aritmética finita, a los algoritmos numéricos, a la arquitectura y la construcción del programa que lo resuelve. La IMC debe proveer a los científicos con las herramientas y el ambiente computacional que permita una explotación provechosa de los recursos con los que se cuenta para no tener que recurrir a una simplificación del problema con tal de que éste sea tratable en términos computacionales.

Los grupos de trabajo que desarrollan investigación en ciencia e ingeniería tienden a operar de forma independiente ignorando las actividades que desarrollan equipos de áreas distintas. En muchos casos esto se refleja en la duplicación de trabajo en el desarrollo de algoritmos. Peor aún, se continúa usando algoritmos arcaicos a pesar de que con frecuencia existen algoritmos mejores desarrollados en otras áreas. Todo esto es el resultado de no hacer trabajos multidisciplinarios regularmente.

Hay una necesidad creciente de científicos que tengan una formación sólida en IMC; por ejemplo, John Krebs, jefe ejecutivo del “*Britain’s Natural Environment Research Council*” declaró² que el medio ambiente requiere de científicos que ofrezcan nuevas formas de resolver problemas que no estén enfocados en las disciplinas tradicionales y que Gran Bretaña requiere en el corto plazo “Científicos ambientales con herramientas estadísticas, matemáticas y computacionales”.

La IMC está cobrando un papel muy importante tanto en el avance de la investigación científica como en la industria. En países como Estados Unidos,

Gran Bretaña, Francia y España esta área está desempeñando un papel muy importante para resolver problemas industriales que surgen en el estudio de:

- Clima y predicción del estado del tiempo.
- Finanzas
- Diseño, simulación y control de vehículos.
- Diseño de aeronaves.
- Manejo de recursos naturales.

y problemas que se presentan en otras áreas de la ciencia e ingeniería tales como:

- Biología
- Química
- Materiales
- Bioingeniería

Esta importancia creciente se refleja en la creación de Programas como el *Texas Institute for Computational and Applied Mathematics* con raíces en los 70's pero fundado en Estados Unidos en 1993, el *Wessex Institute of Technology* fundado en Gran Bretaña en 1986, el *Centre Internacional de Mètodes Numerics en Enginyeria* fundado en España en 1987 y el *Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique* en Francia cuya expansión tuvo lugar en los 80's, por citar algunos.

Todos ellos tienen la misión de crear vínculos entre la academia y la industria a través de la actividad científica para acelerar la transferencia tecnológica, de crear y apoyar posgrados en áreas de matemáticas aplicadas y ciencias computacionales y finalmente, de desarrollar investigación en esas mismas áreas y en otras cuyos problemas tengan que ver con la modelación matemática y la simulación computacional.

4.2 Educación

Esta ciencia creciente en importancia es distinta de la ciencia de la computación y tiene importancia por sí misma debido a lo siguiente:

- Las ciencias computacionales enfrentan problemas de importancia nacional o incluso mundial. Estos problemas son complejos y es deseable darles solución.
- Es poco probable que las ciencias computacionales triunfen con el nivel de desarrollo actual de software y hardware. De modo que sin el desarrollo de la ciencia de la computación tomará más tiempo resolver estos problemas.
- La ciencia de la computación no está desarrollando aplicaciones para la ciencia o las ingenierías o la tecnología al ritmo que se requiere, ni está preparando estudiantes para que hagan esto en el futuro.

Los estudiantes de ciencia de la computación rara vez son motivados u obligados a aprender otras disciplinas de la ciencia o la ingeniería. De hecho, muchos de ellos evitan aprender matemáticas aplicadas y métodos numéricos. Y

esta actitud es comprensible cuando observamos que el mensaje que se le envía al estudiante continuamente, desde la educación básica, es que la ciencia y las matemáticas no son importantes, ni interesantes. Es necesario motivar a los estudiantes desarrollando su curiosidad en el mundo físico y procurando que aprecien la modelación. Incrementar su interés en el análisis numérico, en la ingeniería de software científico, en los lenguajes de programación, en los algoritmos y en la arquitectura de las computadoras como disciplinas y conocimiento básico de todos los científicos computacionales.

Por otro lado, los cursos de algoritmos y lenguajes de programación, por mencionar un ejemplo, que se enseñan tanto en la ciencia de la computación como en la ingeniería en computación carecen de ejemplos o los pocos que hay están enfocados a desarrollar aplicaciones económico-administrativas. Mientras que las aplicaciones científicas y tecnológicas, siendo una fuente muy rica de ejemplos que se puede aprovechar para enriquecer conceptos de la ciencia de la computación, están ausentes en estos cursos. La ciencia de la computación no es la única perdedora: los científicos e ingenieros de otras áreas también lo son debido a que desarrollan códigos que son inadecuados, poco efectivos e ineficientes porque no tienen la formación de un computólogo. Aquí cabe señalar que desarrollar programas de cómputo que resuelvan un problema particular no es objetivo de la ciencia, desarrollar conocimiento en esa área particular de la ciencia sí lo es. Es decir, las ciencias computacionales buscan el avance de la ciencia y de la ingeniería a través de entender mejor los métodos matemáticos y computacionales y las herramientas de cómputo a la par que buscan el avance en el estado del arte de la arquitectura de computadoras, de desarrollos de sistemas de software y del diseño de algoritmos mediante una mejor comprensión de las aplicaciones de la ciencia y de la ingeniería.

En muchas instituciones de educación superior los programas de matemáticas y ciencias de la computación prácticamente no tienen interacción entre sí. La creación de un nuevo programa de IMC que pertenezca a ambos departamentos fomentará los vínculos entre esos departamentos y con otros de áreas científicas como biología, ciencias sociales, geología, química, etc.

5 LA IMC EN EL FUTURO

5.1 Investigación e industria

El creciente interés en la IMC se debe a varios factores: disminuye los costos involucrados en la experimentación; reduce el tiempo que se requiere en los proyectos de ciertas áreas de investigación, como geología o ecología; mejora la seguridad en áreas como investigación nuclear o médica; también, disminuye y

en ocasiones evita la experimentación restringida o vedada por razones éticas en esas áreas. Por estos y otros factores, la IMC ha tomado un lugar estratégico entre la teoría y la experimentación como una tercera forma fundamental de conducir investigación, el cual ha venido ampliándose y se ampliará aún más en el futuro.

Hay un gran número de problemas de interés nacional e incluso mundial que se expresan como modelos matemáticos complejos cuya solución requiere del uso extensivo de equipo de cómputo sofisticado. Es indispensable dedicar tiempo y energía a la actualización continua de los programas de cómputo que dan soluciones a estos problemas. Esto requiere de un nuevo acercamiento a la investigación en computación donde la meta sea hacer simulaciones realistas y significativas de fenómenos complejos del mundo real. Este nuevo acercamiento tiene importantes retos que resolver. El primero, es encontrar nuevos acercamientos algorítmicos a la modelación computacional que se acoplen mejor a las arquitecturas de computadoras existentes y futuras. Esto podría incluir esquemas adaptativos, autómatas celulares o ideas nuevas y más radicales. Otro reto consiste en desarrollar nuevos lenguajes y paradigmas de programación más adecuados y eficientes para desarrollar programación en paralelo y distribuida.

Para entender mejor cuál es el futuro de la Investigación en México en esta nueva disciplina es necesario conocer las políticas de investigación que rigen a Estados Unidos y otros países desarrollados debido a su innegable influencia y liderazgo, en este campo del quehacer humano. Por ejemplo, las nuevas normas en la investigación científica en países como Estados Unidos apuntan a la fundación de la investigación estratégica –investigación que tiene el claro propósito de impactar la economía, salud, educación y otras necesidades nacionales. Este nuevo enfoque reemplaza al anterior cuya meta era simplemente procurar el avance de la ciencia y que tuvo vigencia durante la mayor parte del siglo pasado. La investigación estratégica, según el *National Science and Technology Council*¹, está enfocada a impulsar la investigación tecnológica y científica que apoye las siguientes metas:

- ❑ Mejorar la salud y educación de los ciudadanos
- ❑ Mantener la seguridad nacional
- ❑ Mantener el liderazgo en matemáticas, ciencia e ingeniería
- ❑ Mejorar la calidad del medio ambiente
- ❑ Crear empleos y hacer crecer la economía
- ❑ Fortalecer la información tecnológica para apoyar las metas anteriores

Es claro que los problemas que hay que resolver para lograr esas metas son complejos y de gran escala. La forma de atacarlos ha sido impulsando el trabajo multidisciplinario mediante la creación de posgrados que fomenten los vínculos entre distintos departamentos y entre la ciencia e industria; y cuyos egresados resuelvan problemas complejos integrándose fácilmente a distintas áreas de aplicación. Este esfuerzo se reflejará en un mejor y más rápido

aprovechamiento de los recursos que se asignan a la investigación y por lo tanto en el mantenimiento de un liderazgo en esta área y en educación.

5.2 Educación

El estudiante de ciencias computacionales debe tener una formación que abarque tanto matemáticas, ciencias de la computación como un área de aplicación en ciencia o ingeniería. El conocimiento en matemáticas debe ser suficiente como para que el estudiante pueda modelar problemas científicos y tecnológicos. El conocimiento en ciencias de la computación, en particular en métodos numéricos, diseño de software y visualización debe permitirle al estudiante hacer un uso eficiente de las computadoras. Sin olvidar que un estudiante de ciencias computacionales debe colaborar en equipos de trabajo multidisciplinario con matemáticos, computólogos y alguna otra área de aplicación para resolver problemas prácticos difíciles.

Seguir posponiendo la creación de posgrados cuyas metas sean:

- ❑ La integración del conocimiento que se genera en las distintas áreas de la ciencia e ingeniería.
- ❑ Acelerar la transferencia tecnológica vinculando la ciencia con la industria.

sería continuar aumentando el rezago en la generación e innovación del conocimiento tecnológico.

6 CONCLUSIONES

El tratamiento adecuado y la solución de muchos problemas de la ingeniería contemporánea dependen, de manera esencial, de la capacidad de análisis de los sistemas que intervienen en ellos. Aunque la diversidad de los mismos es enorme, casi todos los que se presentan en los recursos naturales, obras civiles, medio ambiente, etc., son sistemas macroscópicos (físicos, químicos, o aún biológicos). La capacidad para analizarlos ha avanzado mucho en las últimas décadas, gracias a la aplicación de la IMC, que haciendo uso de las formulaciones matemáticas se instrumenta para su aplicación por medios computacionales. Por lo anterior, es urgente instrumentar un programa interinstitucional de investigación y desarrollo estratégicos en estos temas. Asimismo, es indispensable organizar una sociedad nacional que aglutine a los especialistas y grupos interesados para promover y fortalecer estas áreas. La existencia de una sociedad científica/profesional dedicada a los temas de las MIC seguramente ayudará a que estas se consoliden dentro del ámbito nacional y en consecuencia de esta consolidación su impacto en el desarrollo científico y

tecnológico del país será evidente.

7 REFERENCIAS

- [1] National Science and Technology Council, Fact Booklet, The White House, Washington, D.C., 1994.
- [2] A.B. Shiflet et al., *Undergraduate Computational Science Education*, ACM SIGCSE Bulletin , Proceedings of the thirty-first SIGCSE technical symposium on Computer , 1998.
- [3] SIAM Working Group on CSE Education, *Graduate Education in Computational Science and Engineering*, SIAM Review Vol.43, No. 1, pp 163-177, 2001.
- [4] I.Herrera-Revilla, *Reflexiones sobre la Ciencia y la Educación en la Ingeniería*, en el foro “Los retos de la ingeniería en el siglo XXI”, Academia Nacional de Ingeniería, 2000.
- [5] D.E. Stevenson, *Science, Computational Science and Computer Science: At a Crossroad*, ACM 1993.
- [6] A. Sameh et al., *Computational Science and Engineering*, ACM Computing Surveys, Vol.28 No.4, 1996.
- [7] J.R. Rice, *Computational Science as One driving Force for All Aspects of Computing Research.*, ACM Computing Surveys, Vol.28, No. 4, 1996.
- [8] G.M. Schneider, *Computational Science as an interdisciplinary bridge*, ACM, 1999.