

Propuesta para la creación de la Licenciatura en Matemáticas Aplicadas en la Facultad de Ciencias

Manuel Falconi Magaña
Carmen Hernández Ayuso
Jésus López Estrada
María Lourdes Velasco Arregui

Introducción

A lo largo de la historia, las Matemáticas han sido una herramienta fundamental en la formulación y resolución de una gran variedad de problemas, sobre todo de corte científico y tecnológico. Hoy en día son más diversos los procesos y fenómenos que se modelan y analizan con matemáticas, cuyos métodos y enfoques se utilizan en todas las ciencias incluyendo las sociales y biológicas.

En la economía y la producción las matemáticas están cada vez más presentes en el desarrollo de nuevos productos, en la optimización de procesos, en la administración eficiente de recursos, en cuestiones organizativas y de control, en estudios económicos y de planeación.

En aspectos sociales es absolutamente reconocida la participación de la Estadística. Pero además existe una creciente variedad de problemas científico-técnicos de gran relevancia social que se tratan matemáticamente. Por dar algunos ejemplos: problemas de transporte, de aprovechamiento de agua y energía, de análisis de impacto y tratamiento de suelos y aguas contaminadas, predicción de clima y, más recientemente, en ciencias genómicas, nanotecnología, biología molecular y problemas relacionados con medicina, como son la propagación de epidemias y el diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Los métodos matemáticos y computacionales se han convertido en herramientas esenciales en el desarrollo de los avances en ciencia y tecnología.

En México, se ofrecen 14 carreras de Matemáticas Aplicadas, incluyendo la Licenciatura de Matemáticas Aplicadas y Computación de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán. En la tabla adjunta se especifican las áreas en las que se concentran dichas carreras (Ver anexos).

La Facultad de Ciencias y los institutos de la UNAM constituyen un ambiente académico propicio para sostener una carrera de matemáticas aplicadas con una sólida formación y con un espectro de opciones más diverso.

Si bien es cierto que en la carrera de Matemáticas de la Facultad de Ciencias la flexibilidad es tan amplia que, en principio, un estudiante podría desarrollarse en especialidades más aplicadas, ello requeriría de mucha orientación para que cursase desde el inicio una secuencia conveniente de asignaturas, además de una perspectiva en los cursos básicos distinta a la dominante, esto es, que incluya aplicaciones y uso de herramientas computacionales.

Con la carrera de Matemáticas Aplicadas se busca ofrecer una alternativa estructurada que no sólo garantice una sólida formación matemática en esas especialidades, sino también, el desarrollo de la habilidad de modelar y resolver

problemas provenientes de diversos ámbitos del conocimiento y la capacidad de comunicación con profesionales de otras disciplinas.

En el quehacer de los matemáticos no académicos es fundamental la formulación de problemas como un proceso interactivo y continuo y, como los problemas en el sector productivo y de servicios casi nunca están en forma matemática cuando por primera vez se presentan, su trabajo demanda la habilidad de entender problemas expresados en la terminología de otra disciplina y de discernir y analizar las estructuras y las preguntas matemáticas subyacentes. No basta entonces que los egresados cursen un conjunto de materias de mayor aplicación, sino que es necesario que transiten paulatinamente de la experiencia en el planteamiento de problemas, de acuerdo a su nivel de conocimientos, a la vivencia más realista de modelar, descifrando el problema para plantearlo matemáticamente y determinando las herramientas más apropiadas para resolverlo.

Por otro lado el plan que se propone contempla una formación horizontal que dé a los egresados habilidades matemáticas amplias para enfrentar la dinámica cambiante de las necesidades de sus empleadores y/o de su propio desarrollo. Y da, al final, la posibilidad de una especialización en el área de su elección.

Se pretende que este programa atraiga a los alumnos con interés en matemáticas, pero cuyas inquietudes de desarrollo profesional se encuentren fuera del entorno académico.

Contexto

El rigor y la estructura formal del pensamiento matemático permiten el análisis sistemático de situaciones, lo que conlleva a una mejor toma de decisiones. Por lo que cada vez se recurre más a los matemáticos para resolver los problemas que surgen en los más diversos campos.

En muy distintos aspectos de la economía, la organización social y la investigación científica se ha producido una revolución debido a la capacidad que los nuevos métodos matemáticos y las herramientas computacionales proporcionan en el manejo de situaciones y en la resolución de problemas complejos.

Las matemáticas constituyen un factor decisivo que permite incorporar estas posibilidades a nuevos ámbitos. Como se señala en el artículo de la Society for Industrial and Applied Mathematics [6]: "en los últimos 30 años se ha incrementado en 6 el orden de magnitud de la velocidad de cómputo y en 6 el orden de magnitud de velocidad algorítmica; (esto) junto con los avances de las matemáticas en la comprensión y modelación de fenómenos complejos y de las ciencias de la computación en el manejo y visualización de conjuntos de datos muy grandes, permite resolver problemas de gran escala, antes intratables"

Por otro lado, el volumen y la precisión de la información disponible acerca de los fenómenos reales ha ido en aumento requiriendo de métodos matemáticos más elaborados y variados para su modelación.

Hoy por hoy las matemáticas juegan un papel clave en la obtención de ventajas técnicas y ahorro en costos, producto de una modelación inteligente, análisis y cómputo realizado por matemáticos que trabajan en equipo con otros profesionales.

Experiencia Internacional

En los países más desarrollados se han estado realizando esfuerzos para impulsar la matemática aplicada como un factor determinante en el desarrollo científico-tecnológico ([1] y [2]). Como ejemplos están la creación del Consorcio Europeo para las Matemáticas en la Industria de la Comunidad Económica Europea [3], los proyectos de creación de Programas Universitarios de Matemática Industrial promovidos por SIAM [9] con apoyo de la National Science Foundation y la National Security Agency. Los campos de trabajo para los profesionales de las matemáticas en estos países abarcan entre otros la industria aeronáutica, manufacturera, farmacéutica, de comunicaciones, petroquímica, el sector financiero, el sector gubernamental y de servicios.

SIAM ha realizado varios estudios sobre el papel de los matemáticos en el ámbito no académico y ha hecho algunas propuestas sobre los conocimientos y habilidades que requieren (Ver tablas anexas). En uno de los últimos [5], el grupo Undergraduate CSE señala la necesidad de establecer este tipo de programas desde el nivel de licenciatura.

En Estados Unidos, Canadá, el Reino Unido y otros países, un gran número de universidades públicas y privadas ofrece Matemáticas Aplicadas como carrera (BS honours) y otras como "tracks", opciones, especialidades o concentraciones. También se ofrecen licenciaturas interdisciplinarias del tipo matemáticas y estadística, o matemáticas y ciencias de la computación, matemáticas con biología. (Ver tablas anexa)

Situación Nacional y de la institución

Tradicionalmente los matemáticos en México han desarrollado su actividad en los ámbitos académico y educativo. Sin embargo, algunos de estos profesionistas y de ramas afines (actuaría, ingeniería, física) han trabajado o trabajan como matemáticos adscritos a proyectos aplicados principalmente en los sectores estatal, paraestatal y bancario (PEMEX, CFE, INEGI, IIE, IMTA, ININ, SEMARNAT, etc.). Un gran número de estos profesionistas ha hecho estudios de postgrado en matemáticas aplicadas, lo que, aunado a su formación previa, les ha permitido introducir innovaciones en sus ámbitos de trabajo.

A pesar de lo anterior aún falta un largo camino por recorrer pues los problemas son tantos y de tal complejidad que requieren de la amplia participación de profesionales con una sólida formación en matemáticas aplicadas que coadyuven en la búsqueda de mejores soluciones.

Entre las principales causas del lento avance del impacto de los matemáticos fuera de la educación y la investigación están:

1. El número de matemáticos en México es muy escaso, de manera que hasta este momento no se ha alcanzado la masa crítica necesaria para que el medio matemático tenga incidencia en los sectores de gobierno, productivo y de servicios.

2. La cultura científica y matemática general en el país es pobre, lo que impide que desde otros ámbitos se demande la participación de matemáticos en la resolución de problemas.

3. La formación tradicional de los matemáticos ha tenido una perspectiva esencialmente académica lo cual implica que la mayoría de los egresados se

integran a las labores de docencia e investigación básica en matemáticas. Así, no es poco frecuente que terminen haciendo Matemáticas Aplicadas los estudiantes y los profesionistas que se iniciaron como actuarios, físicos, químicos e ingenieros.

Sin embargo, la madurez del medio matemático mexicano ha derivado en una diversificación de la formación de los matemáticos que lo capacita para formar profesionistas que puedan tener una mayor incidencia en ámbitos distintos a los de las matemáticas mismas.

Tanto en los Institutos de Matemáticas como en la Facultad de Ciencias de la UNAM se han venido desarrollando áreas con mayores posibilidades de aplicación entre las que destacan Análisis Aplicado, Análisis No-lineal, Análisis Numérico, Biomatemáticas, Computación, Economía Matemática, Ecuaciones Diferenciales, Estadística, Investigación de Operaciones, Matemáticas Discretas, Probabilidad y Teoría de Juegos. Y hoy en día grupos académicos abordan problemas planteados en otras disciplinas. Algunos de éstos han mostrado interés en establecer "salidas terminales" para la carrera.

Objetivos

El plan de estudios propuesto se plantea formar profesionales que puedan participar en proyectos que requieran de sus conocimientos y habilidades matemáticas tanto fuera como dentro del ámbito académico. Se pretende que el perfil de estos nuevos egresados les permita detectar situaciones en donde sus conocimientos puedan ser útiles.

Así mismo, formar profesionistas con el interés y la capacidad de impartir cátedra en los niveles medio-superior y superior especialmente colaborando en la formación matemática de otras disciplinas.

Se busca fortalecer el enfoque aplicado, que es en gran medida una actitud, pero sin perder la sólida formación Matemática que la Facultad de Ciencias ofrece a sus alumnos.

Los estudiantes adquirirán las bases y fundamentos para que puedan tener un crecimiento personal y profesional durante toda su vida, ya sea mediante su trabajo profesional o prosiguiendo con estudios de posgrado que le proporcionen una profundización en algún área de las matemáticas o en otra disciplina.

Es de esperarse que esta nueva perspectiva del quehacer de los matemáticos redunde en un incremento del número de estudiantes interesados en las matemáticas y, eventualmente, en la capacidad del gremio en contribuir a la resolución de problemas en la sociedad.

Perfil de ingreso

El alumno al ingresar a la licenciatura debe contar con las siguientes características:

- Gusto por las matemáticas.
- Talento para las matemáticas.
- Capacidad de trabajo.
- Interés en las aplicaciones.
- Capacidad de análisis y comprensión.

Perfiles intermedios

Formación Básica

Al término del cuarto semestre el estudiante debe contar con las siguientes características

- Capacidad de abstracción.
- Capacidad de concentración.
- Tendencia al perfeccionismo en la elaboración de sus trabajos.
- Capacidad para trabajar en equipo.
- Capacidad de análisis.
- Capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos hasta ese momento para plantear y resolver problemas.

Formación intermedia (quinto y sexto semestre)

Además de las de la etapa anterior tendrá la capacidad de integrar las habilidades y conocimientos adquiridos para seleccionar una orientación terminal y las materias de formación científica, en concordancia con un proyecto de trabajo.

Formación Final

Al término de la carrera (séptimo y octavo semestres), el estudiante habrá adquirido los conocimientos generales de especialización en alguna de las áreas que se ofrecen, habrá adquirido habilidades de comunicación oral y escrita y experiencia en la modelación y resolución de un problema real.

Perfil de egreso

Características generales

- Que sea un profesional con formación Matemática sólida, conocimientos amplios en Matemáticas en las áreas que tradicionalmente han estado más ligadas a las aplicaciones (Análisis Numérico y Computación Científica, Ecuaciones Diferenciales, Estadística, Investigación de Operaciones, y Probabilidad, entre otras), además de contar con conocimientos profundos en alguna de ellas.
- Que posea interés, experiencia y habilidad para formular problemas reales en términos matemáticos y resolverlos o determinar el tipo de matemáticas necesarias para su resolución.
- Que sea flexible y versátil para abordar y resolver problemas de distintos orígenes y en el uso de diversas herramientas matemáticas y computacionales.
- Que sea capaz, por su formación, de desarrollar enfoques, modelos y procedimientos novedosos.
- Que cuente con las aptitudes y actitudes necesarias para aplicar sus conocimientos y habilidades fuera del ámbito puramente académico, en los sectores productivo y de servicios.
- Además, que su formación, le permita acceder a programas de posgrado afines.

- Que haya adquirido la habilidad de establecer comunicación en sus distintas facetas: escuchar, exponer y explicar, por escrito y oralmente, para públicos diversos.
- Que haya adquirido la habilidad del trabajo en equipo.

Conocimientos y habilidades que debe poseer el egresado

- Conocimientos sólidos de Matemáticas, en general y en los campos de mayor aplicación, profundizando en alguna de las áreas siguientes: Análisis Numérico y Computación Científica, Biomatemáticas, Ecuaciones Diferenciales, Investigación de Operaciones o Estadística y Probabilidad.
- Cultura general en otras disciplinas de ciencia y tecnología. En particular, experiencia con modelos matemáticos en distintas áreas.
- Habilidad para abstraer las características y relaciones esenciales de una situación concreta para formular, analizar y resolver matemáticamente un problema; así como capacidad de interpretar dentro del contexto los resultados obtenidos.
- Conocimientos en computación, incluyendo uno o varios lenguajes de programación, métodos numéricos y análisis de datos.
- Habilidad para la instrumentación computacional y para el uso de nuevas herramientas de cómputo.

Aptitudes que debe poseer el egresado

- Capacidad para formular matemáticamente problemas planteados por el sector productivo y de servicios, o de otras áreas, y de interpretar matemáticamente descripciones de fenómenos de otras disciplinas.
- Capacidad de reconocer las ramas de las matemáticas que pueden estar involucradas en un problema y de cuándo un problema ya ha sido tratado, o bien, del especialista al que debe recurrir.
- Capacidad de buscar en la literatura soluciones a los problemas.
- Capacidad de hacer conexiones entre distintas áreas.
- Capacidad para realizar trabajo en equipo multidisciplinario.
- Capacidad para comunicarse, es decir:
 - i). Capacidad de adaptarse al lenguaje de otras disciplinas.
 - ii). Capacidad de formular metas y expresar los resultados en un lenguaje amigable a los empleadores, administradores y colegas.
 - iii). Capacidades de expresión oral y escrita claras y de presentación atractiva.

Actitudes que debe poseer el egresado

- Dedicación para cumplir objetivos.
- Determinación de aprender y de innovar.
- Determinación de llegar hasta la instrumentación de las posibles soluciones y conciencia de que se deben entregar resultados útiles, aunque no sean los óptimos, en el tiempo indicado.

Plan de estudios

A continuación se presenta el cuadro de materias obligatorias y una lista de materias optativas. También se presentan varias tablas indicativas de materias por área (Análisis Numérico y Computación Científica, Biomatemáticas, Investigación de Operaciones, Probabilidad y Estadística y Sistemas Físicos).

1er semestre	2o semestre	3er semestre	4o semestre	5o semestre	6o semestre	7o semestre	8vo semestre
Algebra Superior I	Algebra Superior II	Algebra lineal I	Algebra lineal II				
Calculo I	Calculo II	Calculo III	Cálculo IV	Análisis matemático I	Análisis Matemático II		
				Variable Compleja I		Formación Científica	Formación Científica
			Ecuaciones Diferenciales Ordinarias		Dinámica de Sistemas no lineales	Ecuaciones Diferenciales Parciales	
Geometría Analítica I	Geometría Analítica II						
Introducción a las matemáticas discretas	Introducción a la Computación	Computación		Análisis Numérico I	Soln. Num. de Ecs Dif- u Optimización Numérica		Optativa u Obligatoria de Elección
		Probabilidad I	Probabilidad II	Estadística I	Estadística II	Procesos Estocásticos	Optativa u Obligatoria de Elección
				Investigación de Operaciones	Optativa u Obligatoria de Elección	Optativa u Obligatoria de Elección	Optativa u Obligatoria de Elección
Taller de Herramientas computacionales	Taller de Modelación I	Taller de Modelación II	Taller de Modelación III	Taller de redacción		Proyecto I	Proyecto II

En este cuadro las coloración indica las materias:

1. Obligatorias comunes con Matemáticas y Actuaría (algunas con CC y Física)
2. Obligatorias comunes con Matemáticas.
3. Obligatorias comunes con Actuaría
4. De nueva creación
5. Talleres

OPTATIVAS

Optativas generales

Análisis de Algoritmos I	Optimización numérica I *	Introducción a la Modelación Estocástica
Análisis Funcional Aplicado	Programación Lineal	Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias I*
Análisis de Regresión	Programación No lineal	Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Parciales I
Cálculo de variaciones	Series de Tiempo	Biología Matemática I
Ecuaciones Diferenciales Ordinarias II	Sistemas Dinámicos I	Matemáticas Avanzadas de la Física
Ecuaciones Integrales	Teoría de Gráficas I	Teoría de Control Óptimo
Teoría de Juegos		

Más las materias de Matemáticas o de otras disciplinas que recomiende el tutor.

Optativas recomendadas para Biomatemáticas

Biología Matemática I
Biología Matemática II
Procesos Estocásticos II
Seminario de Biología Matemática
Seminario de Ecuaciones Diferenciales

Optativas recomendadas para Cómputo Científico

Optimización Numérica I *	Optimización Numérica II
Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias I*	Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias II
Algebra Matricial Numérica I	Algebra Matricial Numérica II
Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Parciales I	Solución Numérica de Ecuaciones Diferenciales Parciales II
Seminario de Análisis Numérico	

* En caso de no haberla llevado como obligatoria

Optativas recomendadas para Probabilidad y Estadística

Análisis de Regresión	Procesos Estocásticos II
Muestreo	Teoría de Colas
Series de Tiempo	Teoría del Riesgo
Análisis Multivariado	Diseño de experimentos
Estadística III	Seminario de Probabilidad
Estadística Bayesiana	Seminario de Estadística
Simulación y Control	

Optativas recomendadas para Investigación de Operaciones

Programación Lineal	Teoría de Decisiones
Programación no Lineal	Teoría de Redes
Programación Dinámica	Optimización Combinatoria
Programación Entera	Seminario de Investigación de Operaciones
Teoría de Colas	Simulación y control

Optativas recomendadas para Sistemas Físicos

Análisis Funcional Aplicado	Análisis Funcional No-lineal
Cálculo en variaciones	Ecuaciones Diferenciales Estocásticas
Ecuaciones Diferenciales II	Ecuaciones Diferenciales Parciales no Lineales
Ecuaciones Integrales I	Seminario de Física Matemática
Transformadas Integrales I	

Más las materias de Física, Química o Ciencias de la Tierra que recomiende el tutor.

Cursos de Formación Científica (ejemplos)

Biología

Ecología I

Fisiología animal

Recursos Naturales

Evolución I

Física

Dinámica de medios deformables

Electromagnetismo I

Electromagnetismo II

Fenómenos colectivos

Física Estadística

Introducción a la física cuántica

Introducción a la mecánica celeste.

Mecánica analítica

Mecánica Cuántica

Termodinámica

Óptica

Economía

Demografía I

Economía I

Economía II

Finanzas I

Finanzas II

Ingeniería

Abastecimiento de agua potable y alcantarillado

Cinemática y dinámica

Electricidad y magnetismo

Hidráulica básica

Introducción a la economía

Principios de termodinámica y electromagnetismo

Recursos y necesidades de México

Simulación matemática de yacimientos (Ingeniería petrolera)

Sistemas de mejoramiento ambiental

Sistemas de transporte

Termodinámica

Química

Química I (carrera de Biología)

Química Orgánica (carrera de Biología)

Cinética Química

Química General I

Química General II

Introducción a la dinámica química no lineal

Química Ambiental

Catálisis I

Catálisis II

Química Inorgánica I

Cinética Química y Catálisis

Equilibrio y Cinética

Termodinámica química

Ingeniería de Reactores I

ANEXOS

Licenciaturas de matemáticas aplicadas en México

Inst	Comp	Biol	Econ	Fin	Mat Ind	Est y fin	Sist no lin	Fis mat	Tem sel mat apl	Anal Num Comp Cient	Biol Mat	Prob/ Estad.	Ide O	Mat de Sist Fis
FES Acatlán														
BUAP Puebla														
ITAM														
UABC Baja California														
UTM Mixteca														
UATX Tlaxcala														
UADEC Coahuila														
UAA Ags														
UACH Chihuahua														
U.A. G Chilpancingo, Iguala, Cd Altamirano, Acapulco														
UAEH Hidalgo														
UJED Durango														
UAM														
PROPUESTA														

Algunas opciones de Matemáticas Aplicadas a nivel internacional

En Estados Unidos:

Con BS mayor en matemáticas aplicadas:

UC BERKELEY
HARVARD
U CHICAGO
YALE
WISCONSIN MADISON
COLUMBIA
MICHIGAN ANN ARBOR
BROWN
UCLA
CALTECH
NOTRE DAME
GEORGIA TECH
PURDUE WL
UC SAN DIEGO
NORTHWESTERN
JOHN HOPKINS
WASHINGTON U ST LOUIS
PENN STATE
U COLORADO BOULDER
USC
CASE WESTERN

Con matemáticas aplicadas como concentración:

PRINCETON
MIT
NYU
UVA
U OREGON
U ARIZONA

En otras partes del mundo (con BS en matemáticas aplicadas);

ABERDEEN	Escocia
ABERYSTWYTH	Gales
CAMBRIDGE U	Inglaterra
CONCORDIA U	Canadá
COVENTRY U	Inglaterra
EDINBOURGH U	Escocia
GLASGOW	Escocia
IMPERIAL COLLEGE	Inglaterra
KYOTO	Japón
LINKÖPING	Suecia
MACGILL	Canadá
MONASH	Clyton, Australia
POLYTECHNIC U	Hong Kong
ST ANDREWS	Escocia
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA	Malasia
CALGARI	Canadá
WATERLOO U	Canadá
WESTERN ONTARIO	Canadá

Papel de los matemáticos según empleadores

(SIAM: Graduate Education in CSE [6])

desarrollo de algoritmos y métodos	27%
modelación y simulación	23%
análisis estadístico	15%
Otros	35%

Áreas de conocimiento requeridas para el trabajo "no académico"

(SIAM: Graduate Education in CSE [6])

Modelación y simulación
Métodos y análisis numérico
Estadística
Probabilidad
Análisis ingenieril/ ecuaciones diferenciales
Investigación de operaciones/ optimización
Matemáticas discretas

REFERENCIAS

- [1]. James G. Glimm (editor), Mathematical Sciences, Technology, and Economic Competitiveness, National Research Council, Nat. Acad. Press, Washington D.C., 1991.
- [2]. Avner Friedman, James Glim, John Lavery, The Mathematical and Computational Sciences in Emerging Manufacturing Technologies and Management Practices, SIAM, Philadelphia, 1992.
- [3]. European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI) Web Page:
<http://www.ecmi.dk/>
- [4] The SIAM Report on Mathematics in Industry, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA, 2012 .(www.siam.org/reports/mii/2012)
- [5] Undergraduate Computational Science and Engineering Education, , SIAM working Group on CSE Undergraduate Education, Peter Turner, Chair SIAM Review, Vol. 53, No. 3, 2006.(www.siam.org/about/pdf/CSE_Report.pdf)

[6] Graduate Education for Computational Science and Engineering, SIAM working Group on CSE Education, SIAM Review, Vol.43, no 1,2001.
(www.siam.org/students/resources/report.php)

[7]. Catálogo 1997-1999 de programas y recursos humanos, SMM, enero de 2000.

[8] SIAM Guidelines for a Professional Master's Degree, 1998,
(www.siam.org/students/resources/guidlenes.php)

[9]. The SIAM Report on Mathematics in Industry, SIAM, Philadelphia, October 5, 1996.

[10]. Luis Gosostiza, Estado y evaluación de las matemáticas en México, Boletín de la Academia de la Investigación Científica #14, Octubre 1993.

[11]. J.Haataja, J.Järvinen, YLeino, CSC. Report on Scientific Computing 1999-2000, Chap.4, Survey of mathematical modeling in the Finnish universities, CSC-Scientific Computing Ltd.

[12] Tony F. Chan, The Mathematics Doctorate: A Time for Change?, Notices of the AMS, Vol 50, Num.8, Septiembre 2003.

[13]. Documentos del Comité de Matemáticas y sector Productivo de la SMM.

[14]. A. Friedman, J. Lavery , Como iniciar un programa de Matemáticas Industriales en la Universidad, SIAM, Philadelphia,1993.

[15]. A. Tayler, Mathematics: an industrial resource, Physics Word, Agosto 1990.